

CÁLCULO DA EXTENSÃO DAS VIAS AUXILIARES

PEDRO OLIVEIRA FERREIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO

Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França

JUNHO DE 2018

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2017/2018

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2017/2018 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2018*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha mãe e à Carolina

No matter how bad it gets, I can always rise up.

Carlos Condit

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Adalberto Quelhas França, agradeço a orientação, a disponibilidade, o material facultado, os conhecimentos transmitidos e o rigor exigido na elaboração desta dissertação.

Agradeço aos meus colegas de curso, com os quais partilhei muitas experiências durante a vida académica.

Agradeço aos meus amigos mais chegados, que estiveram comigo nos bons e maus momentos. Especialmente à Maria Miguel e ao João Carvalho, que me acompanham desde sempre como irmãos.

Agradeço à Carolina, por me “aturar”, pelo apoio, pelo carinho, pelo amor, por nunca duvidar das minhas capacidades e acima de tudo por me ajudar a lutar por um futuro melhor.

Por último, agradeço à minha família, em especial à minha mãe, à minha madrinha, ao meu padrinho e aos meus primos, que sempre me incentivaram e ajudaram a atravessar os momentos difíceis. Sem eles nada disto seria possível. Agradeço também à família Rodrigues pelos conselhos, pela amizade e pelas experiências partilhadas.

RESUMO

A presente dissertação tem como objetivo principal o cálculo da extensão das vias auxiliares de mudança de velocidade, das quais vias de aceleração e de abrandamento.

Na parte inicial da dissertação, é feita uma introdução na qual se apresenta o tema e o objetivo desta dissertação. Nos capítulos seguintes são definidas as interseções, onde estão inseridas as vias auxiliares. No terceiro capítulo, são definidas e caracterizadas as vias auxiliares. Seguindo-se da análise das diferentes abordagens e metodologias, utilizadas na caracterização e dimensionamento das vias auxiliares em Portugal, Espanha e nos Estados Unidos.

Num capítulo mais teórico, são apresentados os conceitos teóricos baseados nas sebetas teórico-práticas de Vias de Comunicação 1 e nas normas portuguesas. Estes conceitos foram usados no cálculo das vias auxiliares, com um método diferente dos utilizados nas normas existentes. Esta abordagem, estuda o movimento de um veículo tipo e da extensão necessária para a sua aceleração ou desaceleração.

PALAVRAS-CHAVE: Intersecção, Ramo de ligação, Vias auxiliares, Via de aceleração, Via de abrandamento

ABSTRACT

This dissertation main goal is to calculate the extension of the speed change lanes, which are acceleration and deceleration lanes.

In the initial part, an introduction of the topic and objectives is made. In the next chapters, the intersections and interchanges are defined, where the speed change lanes are located. In the third chapter the auxiliary lanes are defined and characterized. Followed by an analysis of the different approaches and methods used in Portugal, Spain and United States, to implement and calculate the extension of the speed change lanes.

In a more theoretical chapter, are presented basic concepts based on the Portuguese regulations and the knowledge acquired in the subject “Vias de Comunicação 1”. These concepts were used to estimate the extension of the auxiliary lanes with a different method from the existing regulations. This approach focuses on the movement of a selected design vehicle and the extension needed for the acceleration or deceleration.

KEYWORDS: Intersections, Interchanges, Speed change lanes, Acceleration lanes, Deceleration lanes

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.2. OBJETIVO	2
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
 2. INTERSEÇÕES	 3
2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS E TIPOS DE INTERSEÇÕES	3
2.2. INTERSEÇÕES DE NÍVEL	4
2.3. INTERSEÇÕES DESNIVELADAS	6
2.3.1. NÓS DE TRÊS RAMOS	7
2.3.1.1. Nó em trompette (ou trompa)	7
2.3.1.2. Nó em pêra	9
2.3.2. NÓS DE QUATRO RAMOS	11
2.3.2.1. Nó em diamante	11
2.3.2.2. Nó em trevo completo	12
2.3.2.3. Nó em meio trevo	13
2.3.2.4. Rotundas desniveladas	15
2.3.3. RAMOS DE LIGAÇÃO	15
 3. VIAS AUXILIARES	 19
3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS E TIPOS DE VIAS AUXILIARES	19
3.2. ANÁLISE DAS NORMAS EXISTENTES EM PORTUGAL E NOUTROS PAÍSES	21
3.2.1. PORTUGAL	21
3.2.1.1. Generalidades	21
3.2.1.2. Vias de desaceleração e dimensões	21
3.2.1.3. Vias de aceleração e dimensões	25
3.2.1.4. Conclusões	25

3.2.2. ESPANHA	27
3.2.2.1. Generalidades	27
3.2.2.2. Vias de aceleração e desaceleração	27
3.2.2.3. Dimensões	29
3.2.2.4. Conclusões.....	31
3.2.3. ESTADOS UNIDOS.....	31
3.2.3.1. Generalidades	31
3.2.3.2. Via auxiliar de entrada, configurações e dimensões	31
3.2.3.3. Via auxiliar de saída, configurações e dimensões.....	34
3.2.3.4. Conclusões.....	37

4. CONCEÇÃO DE VIAS AUXILIARES – CONCEITOS TEÓRICOS

4.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	39
4.2. TRAÇÃO	41
4.2.1. RESISTÊNCIA AO AR	41
4.2.2. RESISTÊNCIA AO MOVIMENTO.....	42
4.2.3. RESISTÊNCIA À INCLINAÇÃO.....	42
4.2.4. RESISTÊNCIA DA TRANSLAÇÃO DO VEÍCULO E ROTAÇÃO DAS PEÇAS.....	43
4.2.5. ESFORÇO DE TRAÇÃO.....	44
4.2.6. RELAÇÕES ENTRE POTÊNCIA, BINÁRIO E ESFORÇO DE TRAÇÃO	44
4.2.1.1. Sistema de transmissão	44
4.2.1.2. Relação potência – esforço de tração	45
4.2.1.3. Relação potência – binário do motor	46
4.2.1.4. Relação esforço de tração–binário do motor	47
4.2.7. TRAVAGEM	47
4.3. VIAS AUXILIARES	48
4.3.1. CONSTRUÇÃO DO TAPER	48
4.3.2. LOCALIZAÇÃO	51
4.3.3. CUNHA E NARIZ.....	51
4.3.4. DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE.....	52
4.3.5. VELOCIDADE E RAO MÍNIMO NOS RAMOS DE LIGAÇÃO	53

5. CÁLCULO DA EXTENSÃO DAS VIAS AUXILIARES	57
5.1. INTRODUÇÃO	57
5.2. VEÍCULO-TIPO	57
5.3. CÁLCULO DA EXTENSÃO DAS VIAS DE ACELERAÇÃO	58
5.4. CÁLCULO DA EXTENSÃO DAS VIAS DE DESACELERAÇÃO	64
 6. CONCLUSÃO	 67
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 69
 ANEXOS	 71
A1. VIAS AUXILIARES EM AUTOESTRADAS	73
A2. MODELO DE CÁLCULO - NORMA ESPANHOLA	77
A3. SAÍDAS EM CURVA	79
A4. SELEÇÃO DO VEÍCULO TIPO – ESPECIFICAÇÕES	81
A4.1. INTRODUÇÃO	81
A4.2. SELEÇÃO DO VEÍCULO TIPO	82
A4.3. CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO TIPO	83
A4.4. CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO ALTERNATIVO	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Entroncamento e os respetivos pontos de conflito	4
Figura 2 - Cruzamento e os respetivos pontos de conflito	5
Figura 3 - Rotunda e os respetivos pontos de conflito	5
Figura 4 - Tipos de nós de três ramos [4]	8
Figura 5 - Entrecruzamento	9
Figura 6 - Nó de ligação em pêra com três obras de arte [4]	10
Figura 7 - Nó de ligação em pêra com duas obras de arte, uma de nível três [4]	10
Figura 8 - Nó de ligação em pêra com duas obras de arte [4]	10
Figura 9 - Nó de ligação em Diamante	11
Figura 10 - Nó de ligação em diamante com interseções de nível em rotunda	12
Figura 11 - Nó em trevo completo	12
Figura 12 - Nó em trevo completo com vias distribuidoras-coletoras	13
Figura 13 - Nó em meio trevo completo	14
Figura 14 - Nó em meio trevo incompleto	14
Figura 15 - Rotunda desnivelada	15
Figura 16 - Ramo de ligação em loop	16
Figura 17 - Ramo de ligação direto	16
Figura 18 - Ramo de ligação semidirecto	16
Figura 19 - Tipos de vias de aceleração [4]	19
Figura 20 - Tipos de vias de desaceleração [4]	20
Figura 21 - Via de desaceleração do tipo paralelo [2]	22
Figura 22 - Via de desaceleração do tipo direto [2]	23
Figura 23 - Ábaco de utilização, vias de desaceleração do tipo direto [2]	24
Figura 24 - Via de aceleração [2]	26
Figura 25 - Vias de mudança de velocidade [6]	28
Figura 26 - Vias auxiliares de entrada [7]	32
Figura 27 - Via de aceleração do tipo diagonal [7]	33
Figura 28 - Via de aceleração do tipo paralelo [7]	33
Figura 29 - Extensão das vias de aceleração para traineis com inclinação menor a 2% [7]	33
Figura 30 - Fatores multiplicativos para vias de aceleração [7]	34
Figura 31 - Vias auxiliares de saída [7]	35
Figura 32 - Via de desaceleração do tipo diagonal [7]	36
Figura 33 - Via de desaceleração do tipo paralelo [7]	36
Figura 34 - Extensão das vias de desaceleração para traineis com inclinação menor a 2% [7]	37
Figura 35 - Fatores multiplicativos para vias de desaceleração [7]	37
Figura 36 - Forças que o veículo é submetido em superfície inclinada [9]	42

Figura 37 - Rotação das peças e translação do veículo [9]	43
Figura 38 - Esquema do sistema de transmissão [9]	44
Figura 39 - Via auxiliar do tipo paralelo	48
Figura 40 - Via auxiliar do tipo diagonal	48
Figura 41 - Construção do taper em reta [10]	49
Figura 42 - Construção do taper em curva [10]	50
Figura 43 - Visibilidade nas entradas [3]	53
Figura 44 - Velocidade base nos ramos de ligação [3]	54
Figura 45 - Espaço percorrido em função da aceleração	60
Figura A1. 1 – Vias de desaceleração em autoestradas [3]	74
Figura A1. 2 - Vias de aceleração em autoestradas [3]	75
Figura A3. 1 – Disposição geométrica das saídas em curva [3]	79
Figura A4. 1 - Especificações do veículo tipo (Fonte: Catálogo Renault Clio)	84
Figura A4. 2 - Curva característica do motor do veículo selecionado (Fonte: Catálogo Renault Clio)	85
Figura A4. 3 - Especificações do veículo alternativo (Fonte: Catálogo BMW Série 3)	86

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Tipo de intersecção a adotar em função da classificação das estradas [1]	3
Tabela 2 - Extensão total e do bisel das vias de desaceleração do tipo paralelo [2]	21
Tabela 3 - Extensão do bisel das vias de desaceleração do tipo direto [2]	24
Tabela 4 - Fatores de correção devidos à inclinação da rasante [2]	25
Tabela 5 - Extensão das vias de aceleração [2]	25
Tabela 6 - Extensão das vias de desaceleração para traineis com inclinação menor a 3% [6]	29
Tabela 7 - Fatores multiplicativos para vias de desaceleração [6]	29
Tabela 8 - Extensão das vias de aceleração para traineis com inclinação menor a 3% [6]	30
Tabela 9 - Fatores multiplicativos para vias de aceleração [6]	30
Tabela 10 - Fatores multiplicativos para vias de aceleração (continuação) [6]	30
Tabela 11 - Velocidades de tráfego nas estradas [8]	40
Tabela 12 - Distância de visibilidade em função da velocidade base [3]	52
Tabela 13 - Coeficiente de atrito e raio mínimo da curva em função da velocidade no ramo [11]	55
Tabela 14 - Esforço de tração para cada velocidade engrenada	58
Tabela 15 - Velocidade de mudança na caixa para regime de binário máximo	59
Tabela 16 - Espaço percorrido em função da aceleração	60
Tabela 17 - Extensão das vias de aceleração para o veículo tipo	61
Tabela 18 - Extensão das vias de aceleração veículo alternativo	62
Tabela 19 - Fatores multiplicativos para traineis com 3% de inclinação em rampa	62
Tabela 20 - Fatores multiplicativos para traineis com 4% de inclinação em rampa	62
Tabela 21 - Fatores multiplicativos para traineis com 5% de inclinação em rampa	63
Tabela 22 - Fatores multiplicativos para traineis com 3% de inclinação em declive	63
Tabela 23 - Fatores multiplicativos para traineis com 4% de inclinação em declive	63
Tabela 24 - Fatores multiplicativos para traineis com 5% de inclinação em declive	64
Tabela 25 - Extensão das vias de abrandamento para o veículo tipo	65
Tabela 26 - Fatores multiplicativos para traineis com 3% de inclinação em rampa	65
Tabela 27 - Fatores multiplicativos para traineis com 4% de inclinação em rampa	65
Tabela 28 - Fatores multiplicativos para traineis com 5% de inclinação em rampa	66
Tabela 29 - Fatores multiplicativos para traineis com 3% de inclinação em declive	66
Tabela 30 - Fatores multiplicativos para traineis com 4% de inclinação em declive	66
Tabela 31 - Fatores multiplicativos para traineis com 5% de inclinação em declive	66
 Tabela A4. 1 - Estatísticas de vendas por marca no ano de 2017	 81
Tabela A4. 2 - Estatísticas de vendas por modelo no ano de 2017	82
Tabela A4. 3 - Estatísticas de vendas por versão no ano de 2017	82

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

CC – curva circular

CT – curva de transição

EM – Estradas Municipais

EN – Estrada Nacional

ER – Estrada Regional

IC – Itinerário Complementar

IP – Itinerário Principal

OE – Outras Estradas

AE- Autoestradas

DB – Extensão do bisel em vias de desaceleração

DT – Extensão da via de desaceleração

EA – Extensão adicional

EB – Extensão do bisel do tipo direto

AB – Extensão do bisel em vias de aceleração

AT – Extensão total

SC – Secção característica

L – Extensão da via auxiliar

VB – Velocidade Base

VT – Velocidade de Tráfego

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Official

JAЕ – Junta Autónoma de Estradas

BOE – Boletín Oficial del Estado

km/h – Quilómetros por hora

gr – Grados

rad – Radianos

m – Metros

g – Aceleração gravítica

i – Inclinação longitudinal do trainel

1

INTRODUÇÃO**1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS**

O principal objetivo das vias de comunicação, é garantir uma segura e eficiente circulação de pessoas e bens. O planeamento das infraestruturas rodoviárias está diretamente ligado com o uso do solo e gestão do território, que por sua vez estão dependentes da acessibilidade. Nem todas as estradas garantem acessibilidade. A rede rodoviária nacional classifica as estradas, conforme a sua função, em quatro categorias: Itinerários Principais (IP), Itinerários Complementares (IC), Estradas Nacionais (EN) e Estradas Regionais (ER).

Os Itinerários Principais, são as estradas com o nível hierárquico mais elevado, devido à sua importância a nível nacional. Estas estradas, interligam centros urbanos a nível distrital e asseguram a ligação destes centros com aeroportos, portos e fronteiras. Os Itinerários Complementares, são as estradas responsáveis pelas ligações regionais, assegurando a ligação dos IP's com os concelhos. As Estradas Nacionais asseguram as mesmas ligações que os IC's, apesar de terem um nível hierárquico inferior. Por último, as Estradas Regionais são encarregues das ligações a nível municipal e acesso local [1].

Tendo em conta a hierarquia das estradas, é possível entender que as estradas com nível hierárquico inferior, garantem os acessos locais e as estradas de nível hierárquico superior, asseguram interligação entre distritos. Desta forma, as intersecções entre estradas são parte fundamental da hierarquia das estradas e da rede rodoviária.

As intersecções, asseguram a ligação entre estradas da mesma categoria ou de categorias distintas, podem ser feitas ao mesmo nível e a níveis diferentes. São os pontos da rede rodoviária mais críticos, uma vez que neles ocorrem grande parte dos congestionamentos e acidentes. Geralmente, são as intersecções que definem a capacidade das estradas.

Nas estradas com grandes volumes de tráfego, tal como as autoestradas, são utilizadas intersecções desniveladas que asseguram uma maior capacidade de escoamento, comodidade e segurança, em relação às intersecções de nível. Estas intersecções, permitem a entrada e saída dos veículos na estrada principal, sem interromper a corrente de tráfego. Para isso, os veículos têm de acelerar ou abrandar, para entrar ou sair da estrada principal. Estas mudanças de velocidade são garantidas por vias auxiliares, que são integradas nas intersecções desniveladas.

As vias auxiliares de mudança de velocidade, podem ser de aceleração ou de abrandamento. Em Portugal, as vias auxiliares são caracterizadas e dimensionadas pela Norma de Intersecções [2] e Norma de Nós de Ligação [3]. A norma portuguesa com bases para o projeto de vias auxiliares, é da década de 90 e não sofreu atualizações na matéria das vias de mudança de velocidade, desde então. O conhecimento destas normas e dos problemas recorrentes nestas intersecções, permite concluir que as normas nacionais

abordam o tema das vias auxiliares de forma incompleta, principalmente no dimensionamento das mesmas.

1.2. OBJETIVO

Nesta dissertação, será feita a análise das disposições normativas portuguesas, espanholas e americanas. De forma a comparar as diferentes metodologias utilizadas nos países, no dimensionamento das vias auxiliares e, abordar o tema das vias auxiliares com uma metodologia diferente, a fim de melhorar a segurança nas interseções.

Este documento tem como principal objetivo o cálculo da extensão das vias auxiliares, com uma abordagem diferente da metodologia utilizada noutros países e com um rigor superior face às normas portuguesas existentes. Esta metodologia terá como principal foco o estudo do movimento do veículo e deste modo, determinar as necessidades do veículo na aceleração e na desaceleração.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está dividida em seis capítulos. O presente capítulo serve de introdução ao documento, onde se apresentam considerações gerais relativas ao tema, os objetivos e a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo é dedicado ao tema das interseções, são definidas as intersecções de nível e desniveladas, são apresentados os diferentes tipos de cada intersecção, as suas funções e os ramos de ligação.

No terceiro capítulo, serão introduzidas as vias auxiliares, que são incluídas nas intersecções desniveladas, com o intuito de auxiliar a entrada e saída da estrada principal. No mesmo capítulo, será apresentada e comparada a caracterização e o dimensionamento das vias auxiliares presentes nas normas portuguesas, espanholas e americanas

O quarto capítulo, apresenta os conceitos teóricos relativos ao movimento de um veículo e conceitos para conceção de uma via auxiliar com base nas normas portuguesas. Estes conceitos serão base para o objetivo desta dissertação.

No quinto capítulo, é calculada a extensão das vias auxiliares com uma metodologia diferente do analisado em Portugal e nos outros países, tendo em conta os conceitos teóricos do capítulo anterior

No último capítulo, são apresentadas as conclusões retiradas na consideração de uma abordagem diferente no método de cálculo das extensões das vias auxiliares

2

INTERSEÇÕES

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS E TIPOS DE INTERSEÇÕES

As intersecções são definidas como áreas da rede rodoviária onde duas ou mais estradas se intersejam, resultando na junção das várias correntes de tráfego.

As intersecções podem ser caracterizadas como de nível, nas quais as linhas de tráfego podem cruzar, unir ou separar; ou podem ser caracterizadas como desniveladas, em que as linhas de tráfego cruzam a nível diferente.

Grande parte dos acidentes rodoviários ocorre em intersecções, tanto de nível como desniveladas, muitas vezes por erro do condutor como também pelas fracas características geométricas e falta de sinalização. As colisões ocorrem nos chamados pontos de conflito, pontos estes onde as linhas de tráfego se intersejam. Os problemas existentes nas intersecções podem ser reduzidos através de um correto dimensionamento geométrico acompanhado de uma boa sinalização, permitindo assim que os condutores tenham perceção do tipo de intersecção que vão efetuar e que ocorra uma boa canalização do tráfego.

A conceção de uma intersecção depende de diversos fatores, porque apesar da similaridade dos casos, os fatores que condicionam cada caso são diferentes. Os fatores condicionantes do projeto geométrico de uma intersecção são relacionados com o tráfego, os elementos físicos, os condutores e a economia.

As intersecções a considerar em função da categoria das estradas, são apresentadas na Tabela 1. De notar que, qualquer intersecção com IP's e IC's deve ser realizada por intersecções desniveladas. A ligação entre Itinerários Principais e Estradas Municipais, é uma solução a evitar, uma vez que estas últimas são estradas com volumes de tráfego reduzidos.

Tabela 1 - Tipo de intersecção a adotar em função da classificação das estradas [1]

Ligação	IP - IP	IP - IC	IP - OE	IC - IC	IC - OE	IC - EM	OE** - OE	OE** - EM
Interseções de nível	X	X	X	X	•*	•*	•	•
Intersecções desniveladas	•	•	•	•	•	•	X	X

Legenda:

IP – Itinerários Principais; IC – Itinerários Complementares; OE** – Outras Estradas; EM – Estradas Municipais

X – Solução a evitar

• – Solução aconselhável

* – Quando o tráfego médio diário da estrada secundária for inferior a 1000 veículos no ano horizonte

** – Abrangendo as Estradas Nacionais e Regionais. A classificação OE surge do Plano Rodoviário Nacional de 1985 e as EN's e ER's do Plano Rodoviário Nacional de 2000.

2.2. INTERSECÇÕES DE NÍVEL

Os tipos básicos de intersecções do ponto de vista geométrico são: os entroncamentos (Figura 1), os cruzamentos (Figura 2) e as rotundas (Figura 3). Estas intersecções podem ser ou não canalizadas, ou seja, com separadores, ilhas separadoras ou ilhas direcionais, que auxiliam os condutores na execução dos movimentos correta.

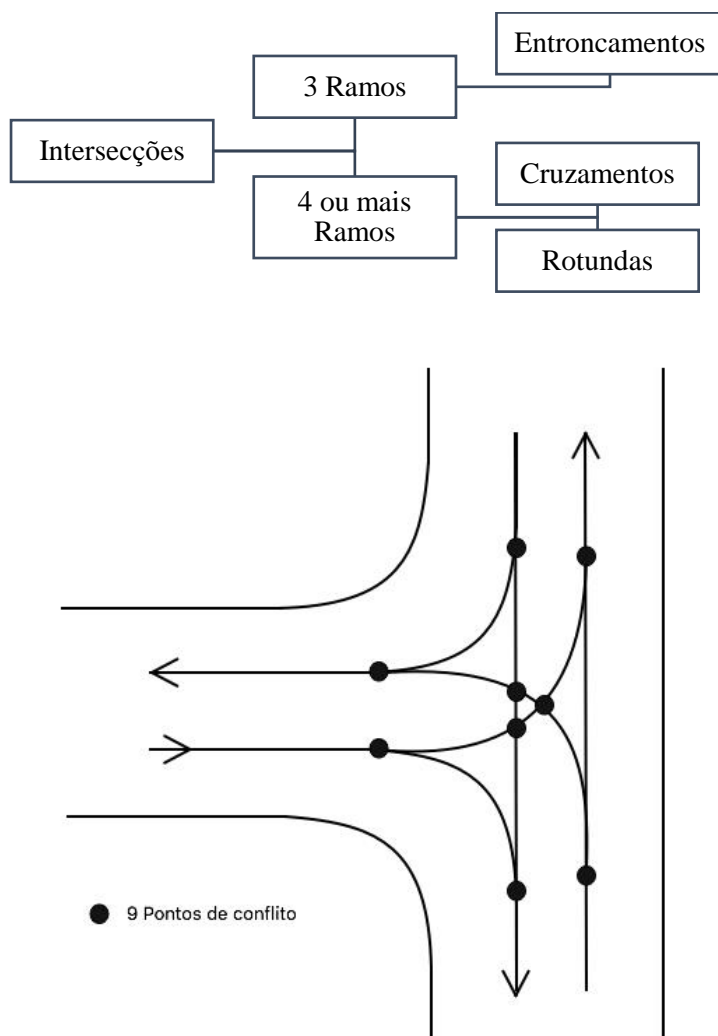


Figura 1 - Entroncamento e os respetivos pontos de conflito

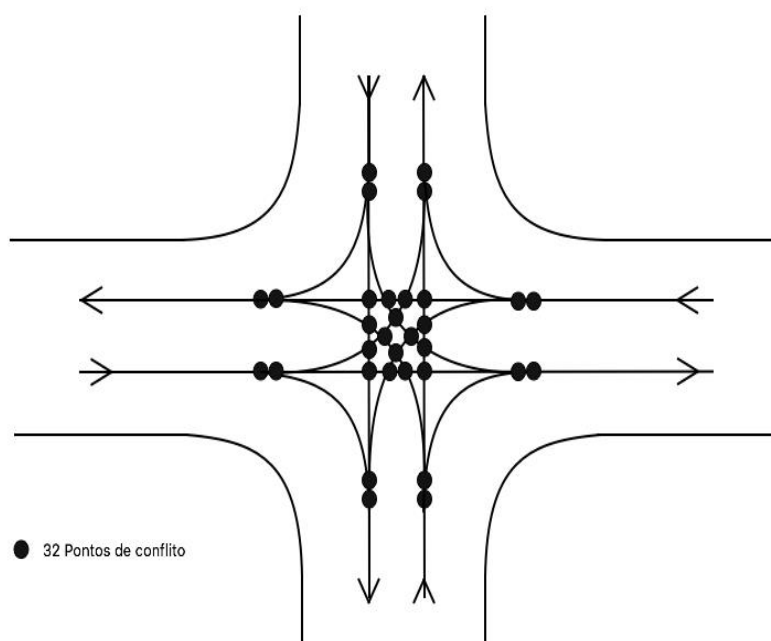


Figura 2 - Cruzamento e os respectivos pontos de conflito

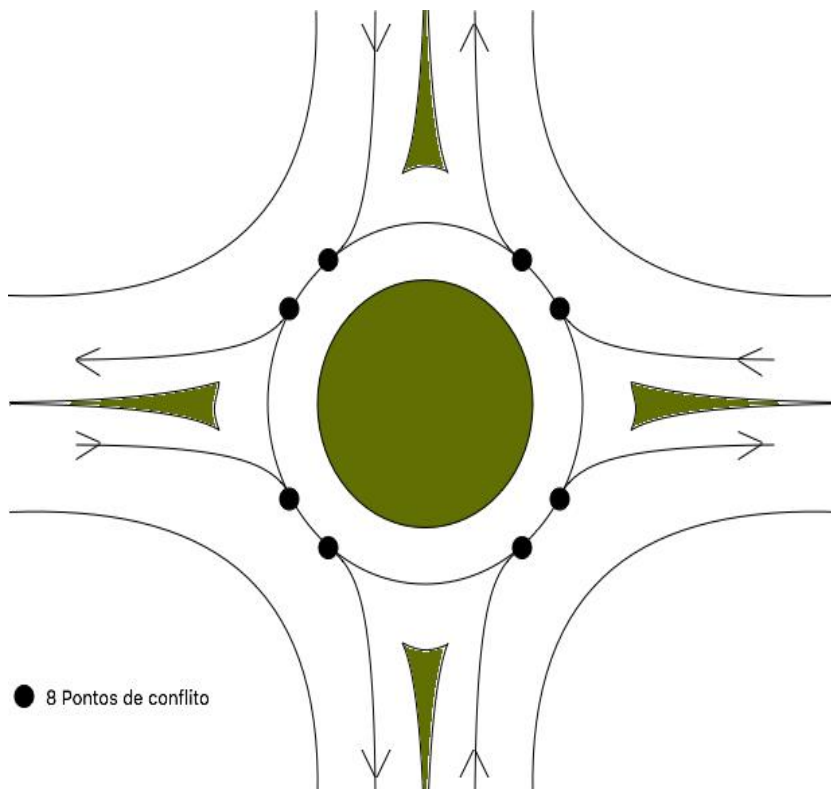


Figura 3 - Rotunda e os respectivos pontos de conflito

As intersecções niveladas são as mais perigosas, devido ao grande número de pontos de conflito associados. Como está presente na figura os entroncamentos têm 9 pontos de conflito, os cruzamentos 32 e as rotundas 8 pontos de conflito. De notar que, a tipologia dos pontos de conflito (convergência e divergência) nas rotundas, é muito menos perigosa que nos cruzamentos e até nos entroncamentos. A canalização como referido anteriormente, permite reduzir as áreas de conflito, melhorar a segurança e capacidade de cruzamento, uma vez que quanto maior for a área pavimentada maior será a área de conflito.

Existem diferentes tipos de intersecções de nível, tais como: prioritárias, de prioridade à direita, giratórias ou controladas por sinalização luminosa. Estes diferentes tipos variam as suas características quer no seu funcionamento, como também na sua geometria, tendo em comum o conflito de movimentos, devido ao cruzamento das correntes de tráfego ocorrer à mesma cota, isto é, ao mesmo nível.

Nas intersecções prioritárias são atribuídos diferentes níveis de prioridade às correntes de tráfego, com o recurso a sinalização simples ou luminosa e são adotadas para grandes volumes de tráfego. Nas intersecções de prioridade à direita não é necessária qualquer sinalização, uma vez que a prioridade é atribuída ao veículo que se apresenta pela direita e são normalmente usadas para situações em que o volume de tráfego é baixo. Nas intersecções giratórias a prioridade é atribuída ao veículo que nela circula, é utilizada normalmente quando o número de ramos é igual ou superior a quatro e o volume de tráfego entre os ramos é equivalente.

As vantagens destas intersecções em relação às desniveladas, são o menor espaço de implementação e o menor custo de manutenção e construção. Porém, são soluções em que o risco de colisão é elevado e apenas devem ser implementadas em zonas com baixa velocidade de circulação.

2.3. INTERSECÇÕES DESNIVELADAS

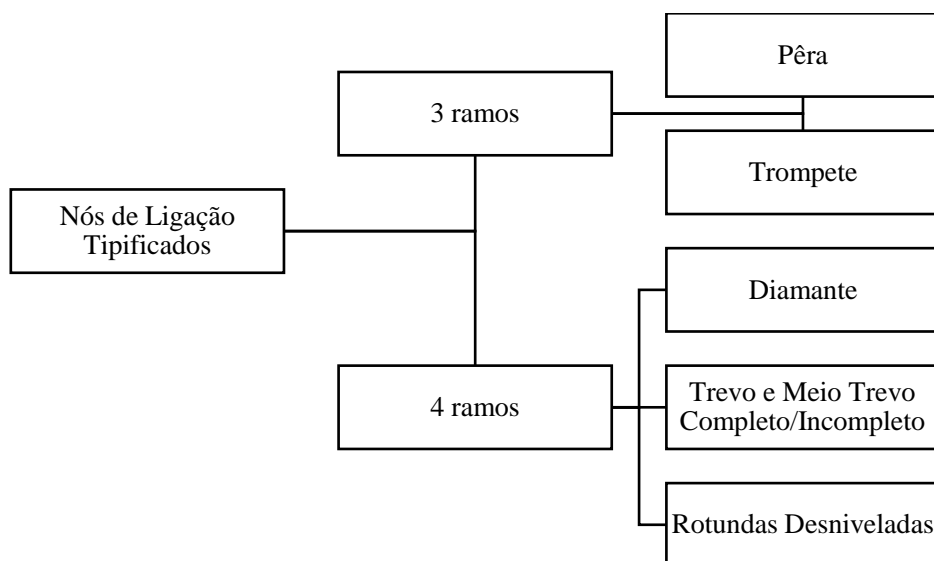
As intersecções desniveladas, também designadas por nós de ligação, conectam correntes de tráfego que se cruzam a diferentes níveis através de um conjunto de ramos de ligação. Os ramos de ligação permitem a entrada e saída da estrada principal.

Em comparação com as intersecções de nível, os nós de ligação são indicados para grandes volumes de tráfego devido à sua segurança, eficiência e capacidade. A segurança neste tipo de intersecção é maior, face às intersecções niveladas, uma vez que os pontos de conflitos são substancialmente diminuídos. No entanto, necessitam de grande espaço para implantação. Esta solução de interligação de estradas resulta na redução do número de acidentes principalmente por eliminar a manobra de atravessamento, causa principal dos acidentes de maior gravidade em intersecções niveladas, ou seja, permite que o veículo que faz a transição de estrada o faça com comodidade, sem tempo de espera e sem interferência na corrente de tráfego principal.

A seleção do tipo de nó de ligação apropriado e do seu design depende de diversos fatores, tais como a classificação das estradas, velocidade base, volume de tráfego, custo de construção e exploração, meio envolvente, topografia, terreno disponível e condicionantes ambientais. Dependendo destes fatores e de outras condicionantes os nós de ligação variam de caso para caso.

Este tipo de intersecção é também dividido em função do número de ramos, que podem ser de três ou quatro ramos. As ligações de 3 ramos mais comuns são efetuadas por nós de ligação em trompete ou em pêra; este tipo de nós é caracterizado pela perda de continuidade da estrada secundária, muito semelhante a um entroncamento, mas neste caso com a intersecção realizada a cotas diferentes. O nó de ligação de quatro ramos permite a intersecção de duas estradas desniveladas e tem várias soluções, tais como nó de ligação em diamante, trevo completo, meio trevo completo ou incompleto e rotundas desniveladas.

Este tipo de intersecção é muito comum em autoestradas, visto que qualquer ligação com uma autoestrada deve ser realizada por uma intersecção desnivelada.



Tendo em conta este estudo ser focado em autoestradas e a solução utilizada para intersecções em autoestradas serem os nós de ligação, de seguida serão analisados os tipos de nós de ligação com mais pormenor.

2.3.1. NÓS DE TRÊS RAMOS

2.3.1.1. Nó em Trompete (ou Trompa)

O nó em trompete é caracterizado por três ramos, que surgem da intersecção de duas estradas, em que uma delas termina no local do nó de ligação.

Os ramos de ligação constituintes deste tipo podem ser diretos de viragem à direita, em loop, diretos ou semidirectos de viragem à esquerda. O critério de seleção da configuração de ramos mais adequada depende do volume de tráfego na viragem à esquerda. Para grandes volumes o ramo de ligação mais direto é o mais vantajoso e para baixos volumes a utilização de um ramo em loop seria o mais indicado. No entanto, caso o ramo de ligação seja em loop, para que os condutores tenham perceção do pequeno raio do ramo, é necessário que a saída da estrada principal seja antes da obra de arte e que os condutores sejam alertados previamente.

A Figura 4-A exemplifica o esquema de um nó em trompete com dois ramos diretos de viragem à direita, um ramo semirecto de viragem à esquerda e um loop; a Figura 4-B é o exemplo de um nó em trompete com três ramos diretos e um loop; e a Figura 4-C apresenta uma configuração de um nó em trompete com dois loop's e dois ramos diretos.

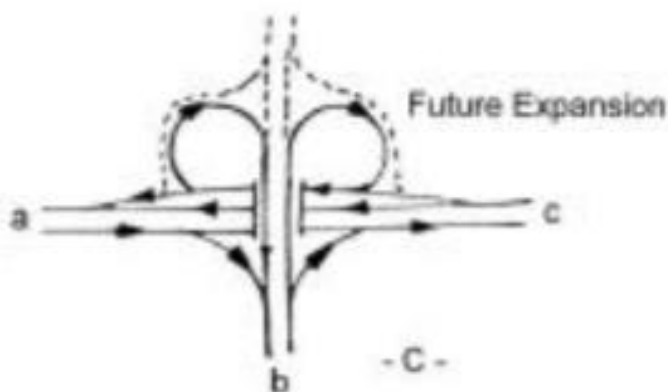
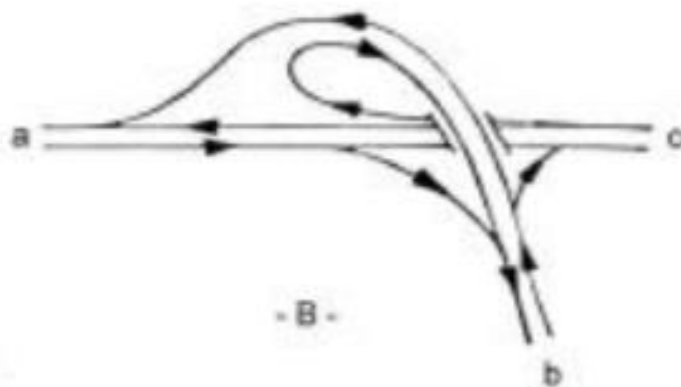
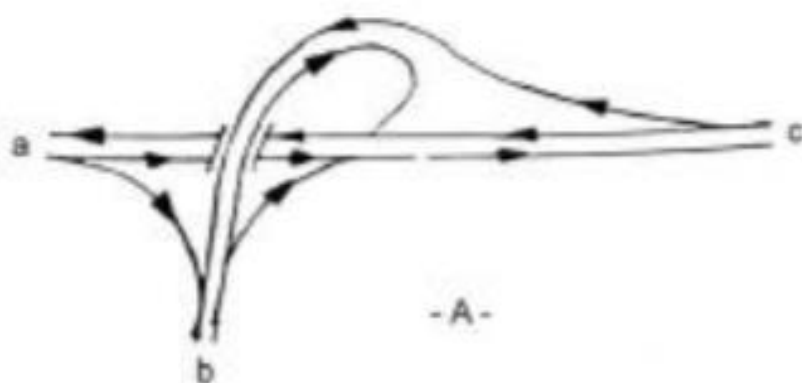


Figura 4 - Tipos de nós de três ramos [4]

Os nós de ligação de três ramos são usados principalmente em locais onde a expansão é pouco provável ou impossível.

A última configuração (Figura 4-C) apresenta o design de um nó de ligação que permitiria uma futura extensão da estrada que no momento não tinha continuidade; porém tem a desvantagem da ocorrência de entrecruzamentos (Figura 5) devido à inevitável proximidade dos dois loop's.

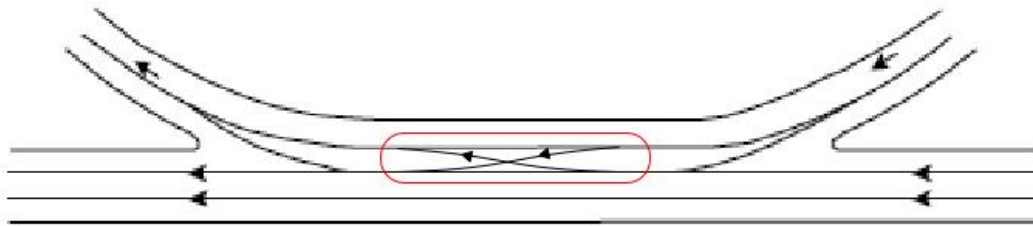


Figura 5 - Entrecruzamento

Entrecruzamento acontece quando a via de aceleração e abrandamento têm espaço em comum, ou seja, é criado um conflito entre o condutor que quer sair da via principal e o que quer entrar. Este problema é causa de vários acidentes. Desta forma é conveniente limitar a utilização desta configuração.

O nó de trompette, dentro do grupo dos nós de ligação de três ramos, é o mais económico, uma vez que apenas utiliza uma obra de arte e necessita de menor área para a sua construção.

2.3.1.2. Nó em Pêra

O nó de ligação em pêra é caracterizado por ter raios mais elevados e por ter mais do que uma obra de arte, permitindo o movimento dos veículos nas intersecções sem o uso de loop's como ramos de ligação. Este design de nó de três ramos é menos económico que o anterior uma vez que o nó em trompette apenas necessitava de uma obra de arte e neste caso, a configuração com menos obras de arte utiliza duas. A necessidade de uma área de implantação maior devido aos movimentos nos ramos de ligação serem mais longos, também está associado ao elevado custo de construção. Este nó, não é muito comum em Portugal.

As configurações deste tipo de nós apenas utilizam ramos de ligação diretos e semidirectos, mais concretamente dois diretos e dois semidirectos. Esta seleção dos ramos de ligação faz com que este nó de três ramos tenha mais capacidade, fluidez e seja utilizado para volumes de tráfego elevados.

Nas figuras seguintes são apresentadas diversas variantes do nó em pêra e a evidente diferença entre as configurações é o número de obras de arte. Na primeira configuração (Figura 6) são utilizadas 3 obras de arte; na segunda configuração (Figura 7) são utilizadas duas obras de arte em que uma delas é de nível três, neste caso todos os pontos de intersecção são comuns a um só ponto, o que permite a redução das estruturas necessárias; por fim a última configuração (Figura 8) utiliza apenas duas obras de arte, mais afastadas do que a primeira configuração, para permitir que os ramos de ligação superiores não se cruzem e assim dispensar a construção de mais uma estrutura. No entanto, não é uma tipologia muito comum.

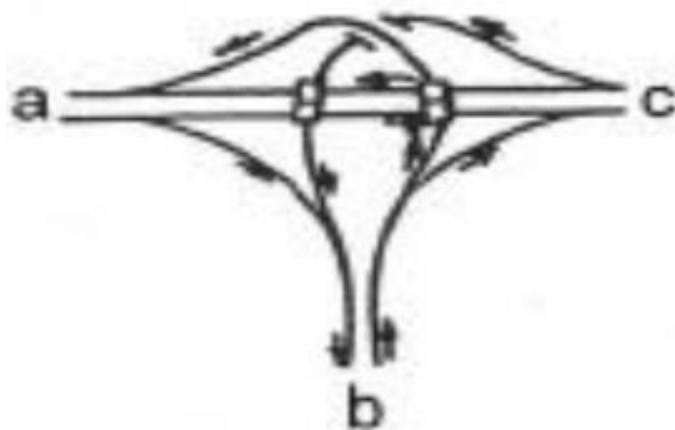


Figura 6 - Nó de ligação em pêra com três obras de arte [4]

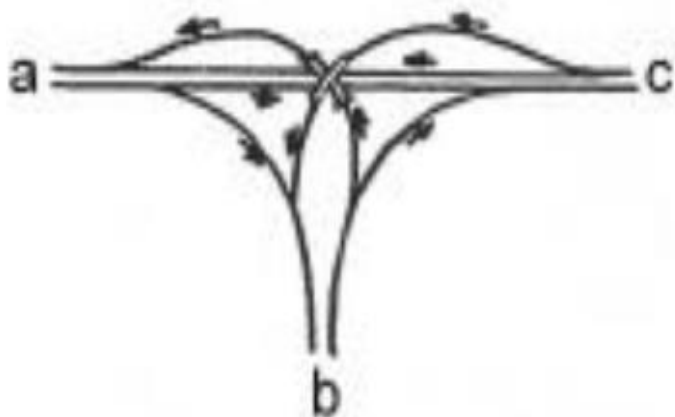


Figura 7 - Nó de ligação em pêra com duas obras de arte, uma de nível três [4]

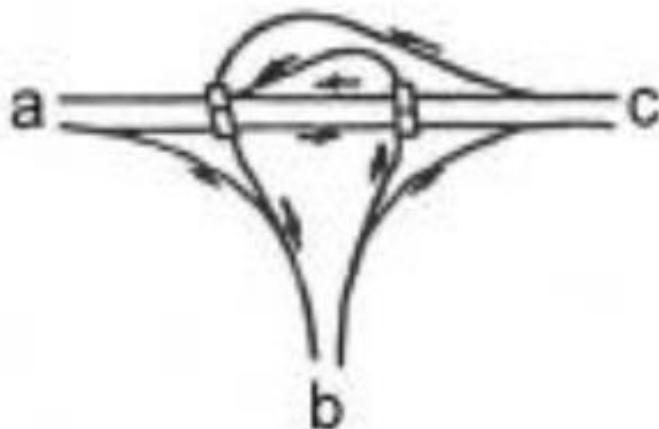


Figura 8 - Nó de ligação em pêra com duas obras de arte [4]

2.3.2. NÓS DE QUATRO RAMOS

2.3.2.1. Nó em Diamante

O nó de ligação em diamante é o mais comum, o mais simples dos nós e tem custos de construção comparativamente mais reduzidos. Neste nó os quatro ramos de ligação de viragem à direita na estrada principal são diretos e as manobras de viragem à esquerda são efetuadas por intersecções de nível na estrada secundária (Figura 9). Esta configuração permite custos de construção baixos, dado que a obra de arte pode ser dimensionada nas condições mínimas devido à inexistência de loop's e à localização das vias auxiliares ser antes ou depois da estrutura. A construção dos ramos de ligação muito próximos das duas vias, ainda que às vezes com muros de suporte, é recomendado em zonas mais urbanizadas onde o custo do terreno é mais elevado.

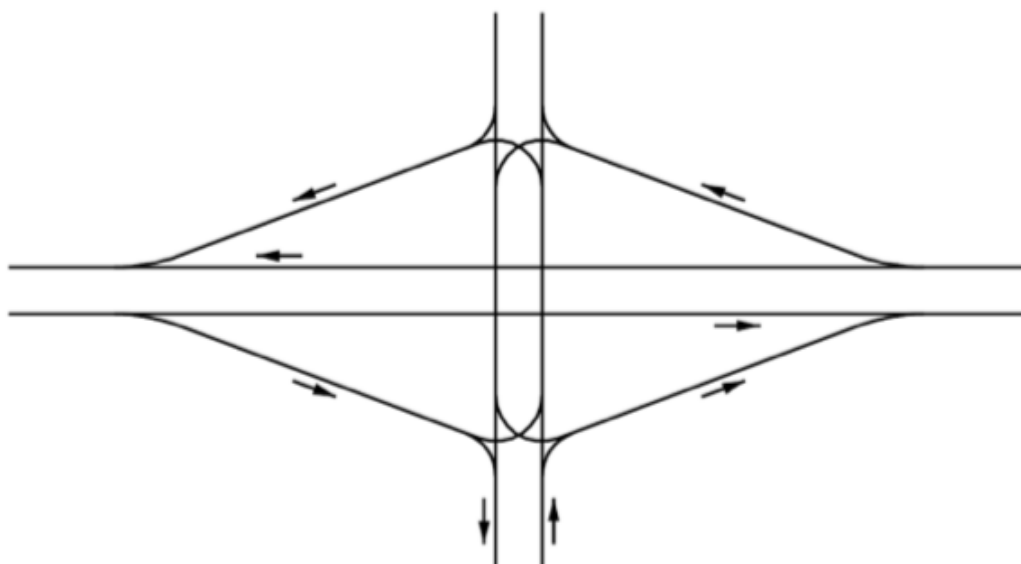


Figura 9 - Nó de ligação em Diamante

A utilização de ramos diretos em vez de loop's nesta configuração permite a entrada e saída da estrada principal a velocidades altas. Contudo, a capacidade dos ramos de ligação depende principalmente do volume de tráfego da estrada secundária e da facilidade com que os veículos efetuam manobras de entrada na mesma. Esta desvantagem pode levar a congestionamentos no ramo de ligação que se podem estender à estrada principal. Neste caso a criação de uma via própria de viragem à esquerda com capacidade de armazenamento iria aumentar a capacidade deste nó.

Uma outra desvantagem deste nó de ligação tem a ver com a dificuldade de perceção por parte dos condutores na circulação, que pode induzir a manobras de contramão. Este problema pode ser solucionado com uma correta sinalização acompanhado da canalização das intersecções ou com o uso de duas intersecções de nível giratórias (Figura 10) na estrada secundária, permitindo a redução dos pontos de conflito e aumentando a perceção dos condutores na intersecção.

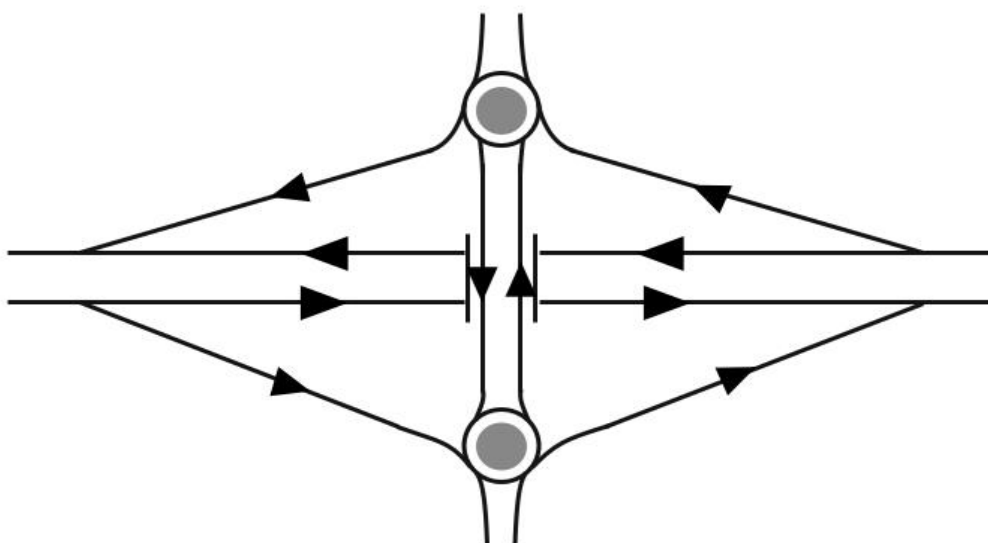


Figura 10 - Nó de ligação em diamante com interseções de nível em rotunda

2.3.2.2. Nó em Trevo completo

O nó em trevo é um outro tipo de nó, de quatro ramos, que é constituído por loop's para viragens à esquerda e por ramos de ligação diretos para as viragens á direita. Em relação ao nó de ligação em diamante este nó tem um custo de construção substancialmente mais elevado e necessita de grandes áreas para implantação. O custo elevado deste tipo de nó está associado tanto à área necessária para construção, como também à dimensão da obra de arte, que inclui vias auxiliares sob e sobre a mesma. Os nós em trevo podem variar conforme a sua configuração: nós com quatro loop's são chamados de nós em trevo completo e os nós restantes designam-se por meios trevos.

A composição de um nó em trevo completo, é de quatro loop's de viragem à esquerda e quatro ramos diretos de viragem á direita (Figura 11). Este tipo de configuração permite que todos os movimentos sejam realizados de forma independente.

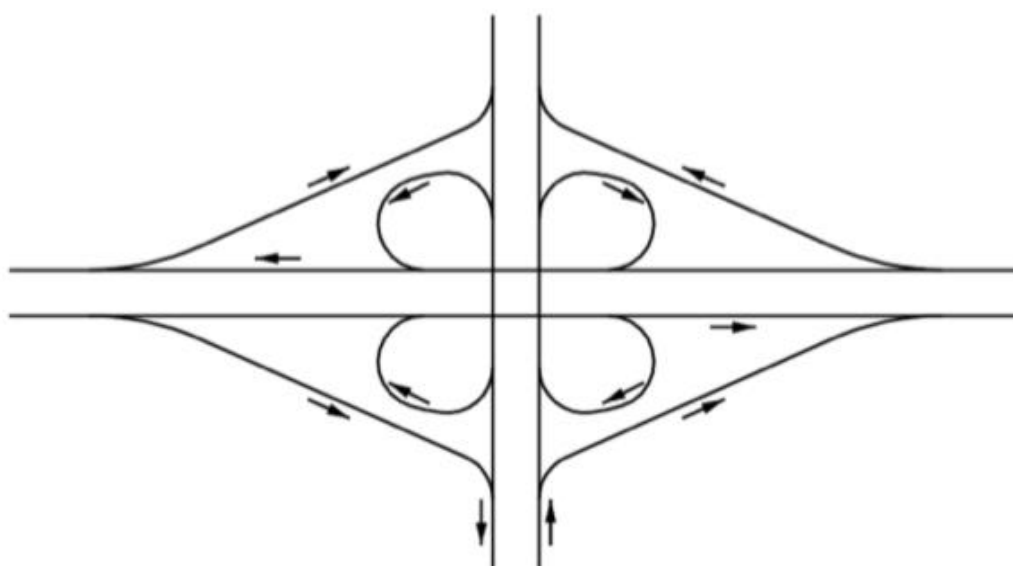


Figura 11 - Nó em trevo completo

As principais desvantagens neste tipo de nós são as quatro zonas de entrecruzamento presentes nas vias secundária e principal, que limitam a capacidade deste nó de ligação. Este problema, como já referido anteriormente, ocorre pela existência de espaços comuns entre as vias auxiliares. A introdução de vias distribuidoras-coletoras (Figura 12) na configuração do nó em trevo completo, poderá eliminar os pontos de conflito resultantes dos entrecruzamentos. No entanto, irá aumentar a dimensão da obra de arte e, em consequência disso, e da maior largura os perfis transversais, o custo de construção.

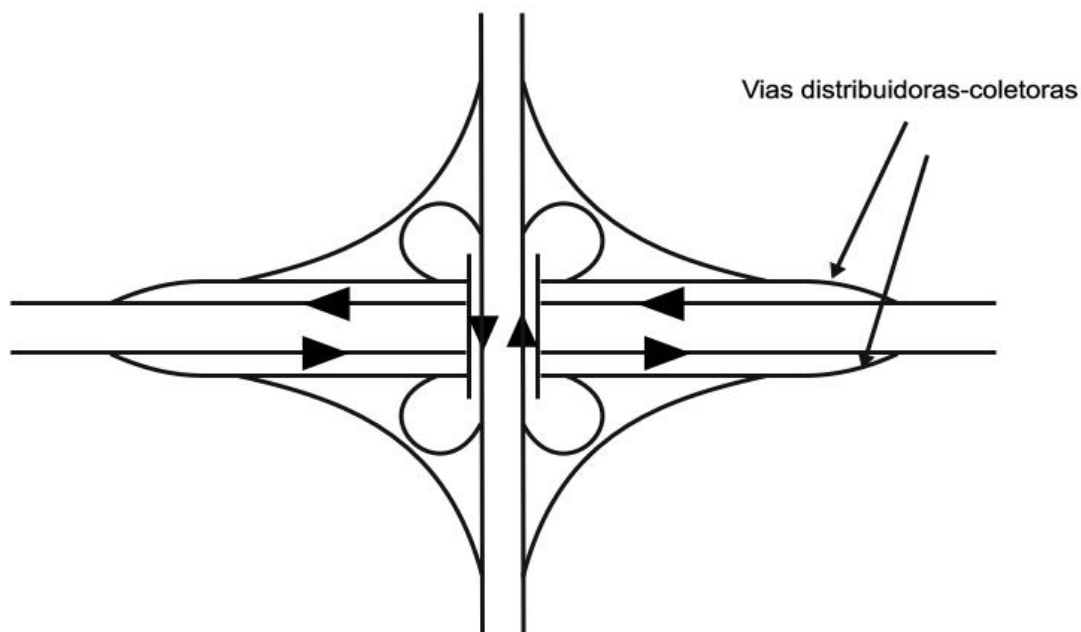


Figura 12 - Nó em trevo completo com vias distribuidoras-coletoras

Esta solução deveria ser previamente implementada para intersecções entre vias com grande volume de tráfego, porque apesar do nó em trevo poder ser construído por fases, esta alteração envolve o alargamento da obra de arte o que é um processo muito complexo.

2.3.2.3. Nó em Meio Trevo

Os nós em meio trevo são constituídos por dois loop's e por quatro ou dois ramos diretos. Estes nós podem ser completos (Figura 13) ou incompletos (Figura 14) A escolha deste tipo de nó é influenciada pela área disponível para construção, pela topografia e pelas necessidades que têm de ser satisfeitas. Caso a área envolvente o permita, é um nó com potencialidade para expansão para satisfazer volumes de tráfego maiores.

A configuração destes nós deve evitar loop's adjacentes, com o fim de evitar a criação de zonas de entrecruzamentos. A disposição dos ramos de ligação deverá ser planeada de forma a que os movimentos de entrada e saída não interfiram com a corrente de tráfego da estrada principal. Esta disposição deverá permitir que os movimentos principais sejam realizados por viragens à direita.

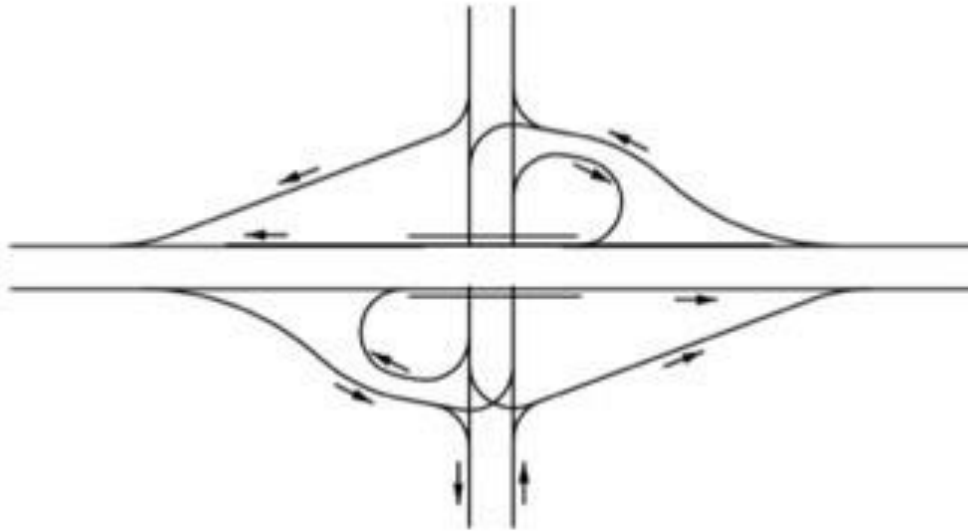


Figura 13 - Nó em meio trevo completo

O nó em meio trevo completo é composto por dois loop's, quatro ramos diretos de viragem à direita e duas viragens à esquerda na estrada secundária, realizadas por intersecções de nível.

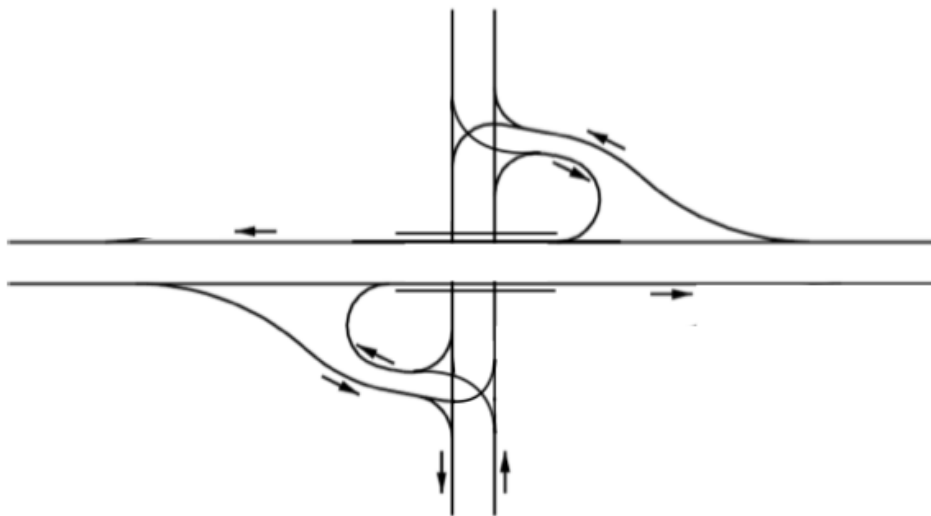


Figura 14 - Nó em meio trevo incompleto

O nó em meio trevo incompleto é composto por dois loop's, dois ramos diretos de viragem à direita e quatro viragens à esquerda na via secundária.

A vantagem do meio trevo incompleto face ao completo é a área desocupada, porém o maior número de viragens à esquerda na estrada secundária limita a sua capacidade. Apesar das intersecções de nível, este tipo de nós é de mais fácil perceção que o nó em diamante e desta forma não induz a insegurança de contramãos.

2.3.2.4. Rotundas desniveladas

Este nó de ligação é constituído por uma rotunda na via secundária que está a cota diferente da via principal, isto é, pode ser superior ou inferior (Figura 15) à via principal. A escolha de uma configuração com intersecção giratória permite uma melhor regulação do tráfego na estrada secundária e é a intersecção de nível que permite aos condutores maior facilidade na mudança de direção.

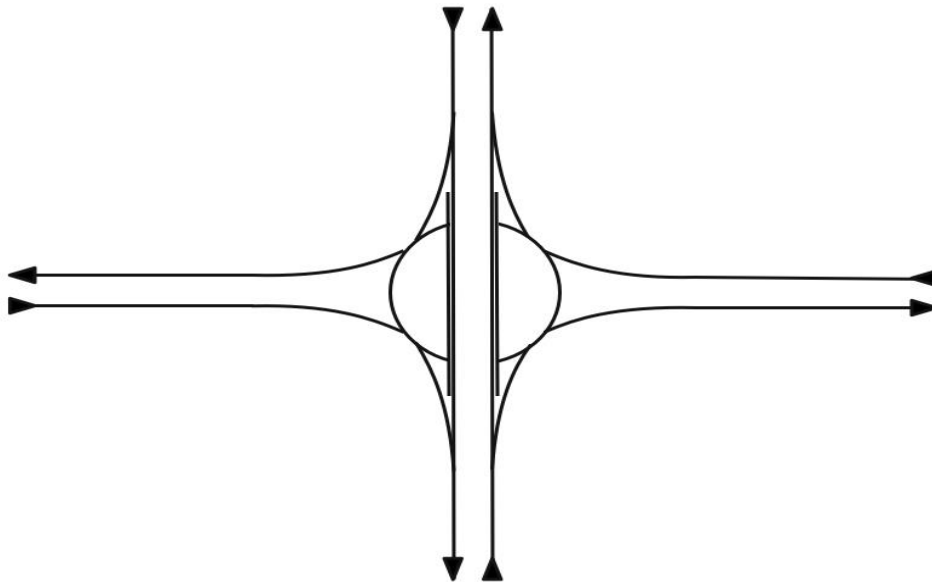


Figura 15 - Rotunda desnivelada

Este tipo de nó de ligação é muito comum em autoestradas; neste caso a rotunda tem dimensões elevadas o que permite maior fluidez de tráfego nos ramos de ligação. No entanto, é uma solução que também tem áreas de entrecruzamentos, provocados pela proximidade dos ramos de ligação.

2.3.3. RAMOS DE LIGAÇÃO

Os ramos de ligação são parte importante dos nós de ligação. Existem diversos tipos e as suas características geométricas são definidas em função de várias condicionantes. Estas condicionantes são: localização; características geométricas das vias existentes e projetadas; ocupação atual e futura do solo; localização de outras infraestruturas importantes; uniformidade entre nós de ligação consecutivos; e características relativas ao tráfego.

Os tipos de ramos de ligação são: em loop (Figura 16); diretos (Figura 17); e semidirectos (Figura 18). O loop é um ramo indireto de viragem à esquerda; o ramo direto faz a ligação de viragem à direita diretamente; e o ramo semidirecto permite a viragem à esquerda, primeiramente com uma viragem à direita.

A conceção de um nó de ligação deve ter em consideração os nós de ligação existentes, de forma a que haja uniformidade na estrada principal e fácil entendimento por parte dos condutores. Para garantir a segurança e conforto dos condutores, os ramos de ligação de entrada e saída devem ser projetados de forma semelhante. Desta forma os condutores conseguem prever a localização das saídas e entradas, o

tipo de ramo de ligação e antecipar o seu comportamento. Um outro aspeto a ter em consideração no planeamento dos ramos são as zonas de entrecruzamento, que devem ser minimizadas.

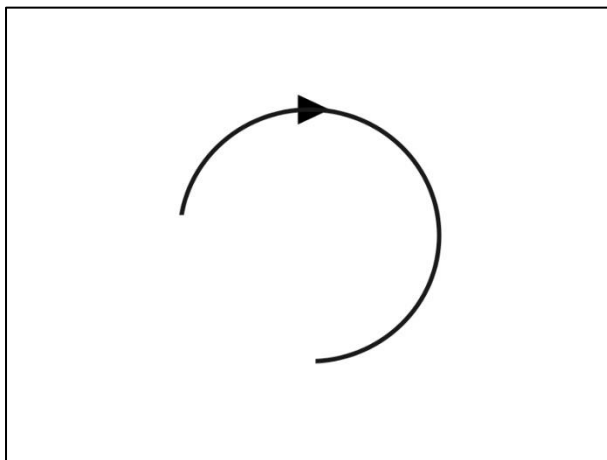


Figura 16 - Ramo de ligação em loop

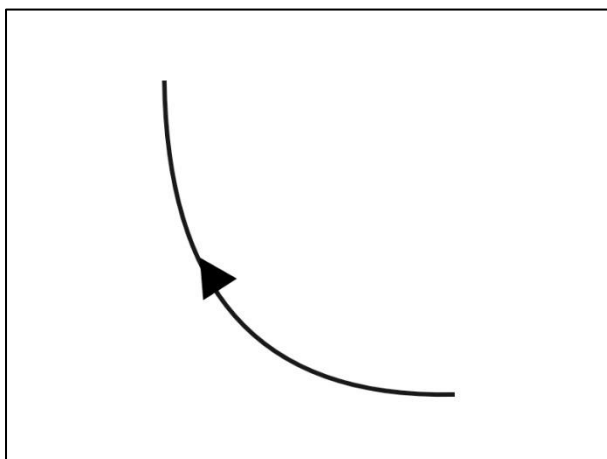


Figura 17 - Ramo de ligação direto

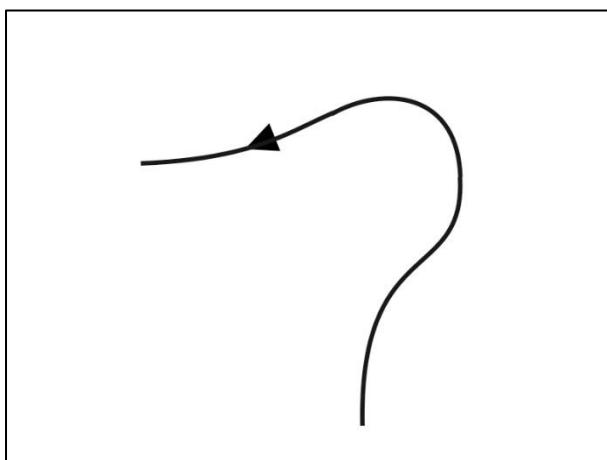


Figura 18 - Ramo de ligação semidireto

Os ramos de ligação constituintes dos nós de ligação incluem vias auxiliares que permitem a mudança de velocidade dos veículos, que queiram entrar ou sair da via principal. Estas vias são necessárias para que não se criem interferências na corrente de tráfego da via principal. No capítulo seguinte serão analisadas as vias auxiliares ao pormenor, incluído os diversos tipos e métodos de dimensionamento usados em Portugal e noutros países.

3

VIAS AUXILIARES

3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS E TIPOS DE VIAS AUXILIARES

Os condutores que saem de uma autoestrada num nó de ligação necessitam de reduzir a sua velocidade antes de chegar ao ramo de ligação e por outro lado os condutores que entram na autoestrada através do ramo de acesso têm de atingir a velocidade da via principal. Estas mudanças de velocidade são substanciais em alguns nós de ligação. Por esta razão a criação de vias de aceleração e abrandamento, são necessárias para evitar interferências na corrente de tráfego e reduzir o número de acidentes. As vias auxiliares são então, vias de abrandamento e vias de aceleração, adjacentes à estrada principal no lado direito e fazem parte dos ramos de ligação.

Estas vias de mudança de velocidade devem ser dimensionadas com particular atenção. A fim de permitir que os condutores consigam ajustar a sua velocidade entre a via principal e o ramo de ligação, as vias auxiliares devem ter comprimento suficiente para que a aceleração ou desaceleração dos veículos seja executada de maneira segura e confortável. A configuração e a extensão das vias auxiliares de aceleração deverão permitir que o condutor atinja a velocidade necessária antes do fim da via, mas também que estes consigam entrar na corrente de tráfego num intervalo entre veículos.

As vias auxiliares têm duas configurações gerais: via auxiliar do tipo diagonal e via auxiliar do tipo paralelo. Nas Figuras 19 e 20, estão representadas as duas configurações para vias de aceleração e abrandamento, respetivamente.

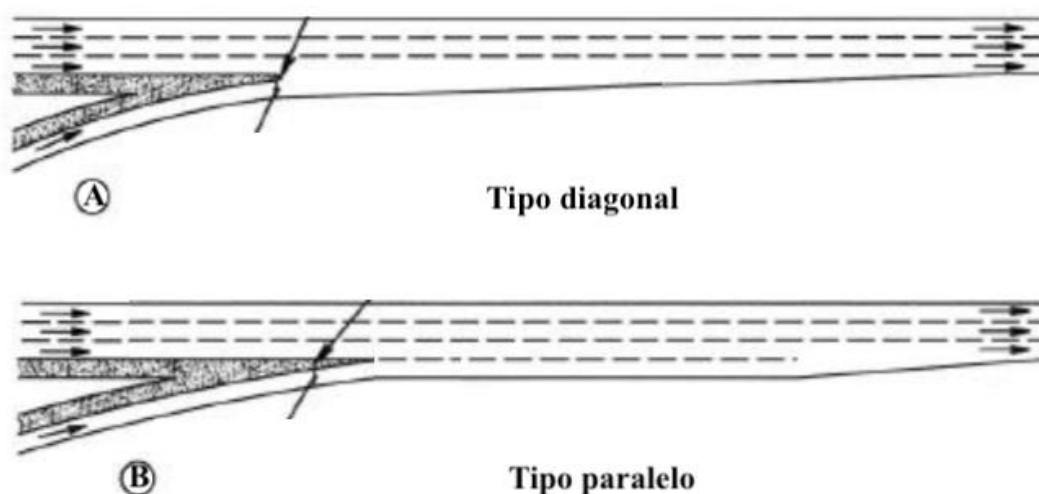
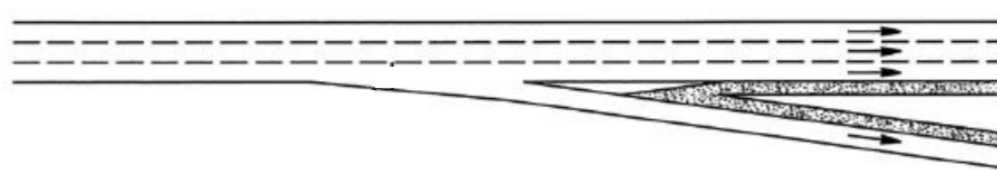


Figura 19 - Tipos de vias de aceleração [4]



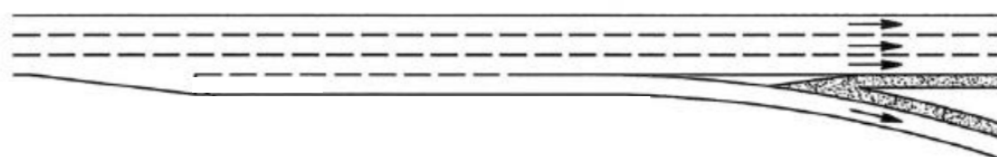
Tipo direto

Ⓐ



Tipo direto com taper curvilíneo

Ⓑ



Tipo paralelo

Ⓒ

Figura 20 - Tipos de vias de desaceleração [4]

As vias de mudança de velocidade do tipo diagonal fazem um ângulo com a via principal devido à sua largura variável e são constituídas por um bisel retilíneo. As vias do tipo paralelo são constituídas por um *taper* no início ou no fim da via auxiliar conforme o seu fim, abrandamento ou aceleração. Esta via auxiliar é paralela à via principal e com largura constante de 3,5 metros.

Estes dois tipos de design quando dimensionados corretamente satisfazem as necessidades dos condutores. Contudo a via auxiliar do tipo diagonal é normalmente usada para vias de abrandamento e a via do tipo paralelo para vias de aceleração. A escolha da configuração do tipo paralelo para vias de desaceleração e abrandamento, permite uma maior segurança e comodidade. Os condutores têm uma maior área disponível, dado que têm ao seu dispor uma via adicional que permite as mudanças de velocidade com menor dificuldade.

3.2. ANÁLISE DAS NORMAS EXISTENTES EM PORTUGAL E NOUTROS PAÍSES

3.2.1. PORTUGAL

3.2.1.1. Generalidades

Em Portugal no que diz respeito ao dimensionamento e planeamento das estradas existe uma série de normas criadas pela Junta Autónoma de Estradas (JAE), que atualmente é designada por Infraestruturas de Portugal. Estas normas são base de projeto das estradas, que no caso das vias auxiliares as normas que as definem são a Norma de Intersecções [2] e a Norma de Nós de Ligação [3].

No presente caso de estudo, será feito o dimensionamento das vias auxiliares em autoestradas. A norma que define o dimensionamento de vias auxiliares é a Norma de Nós de Ligação, que para o efeito remete para a Norma de Intersecções ou, no caso de autoestradas, para os guias de design apresentados no Anexo A1.

3.2.1.2. Vias desaceleração e dimensões

Segundo a “Norma de Intersecções”, existem dois tipos de vias de desaceleração em função do movimento de viragem do veículo: via de desaceleração de viragem à esquerda e via de desaceleração de viragem à direita.

Nas viragens à esquerda são utilizadas vias de desaceleração centrais com configuração do tipo paralelo (Figura 21). Estas vias têm de ser dimensionadas a fim de que a sua extensão seja suficiente para a desaceleração, paragem e acumulação dos veículos com segurança e comodidade. Este tipo de vias é utilizado apenas em intersecções de nível, onde ocorrem manobras de atravessamento. Este caso não se aplica a autoestradas.

O dimensionamento destas vias é feito considerando que os condutores desaceleram o veículo durante três segundos e de seguida travam com comodidade, desta forma a extensão destas vias é indicada na Tabela 2.

Tabela 2 - Extensão total e do bisel das vias de desaceleração do tipo paralelo [2]

Velocidade base (km/h)	60	80	100	120
Extensão total (DT) (m)	95	130	170	240
Extensão do bisel (DB) (m)	40	50	60	75

A largura desta via é constante de 3,5 metros, independentemente da velocidade base, e a extensão adicional é estimada em função do volume horário de projeto de viragens à esquerda.

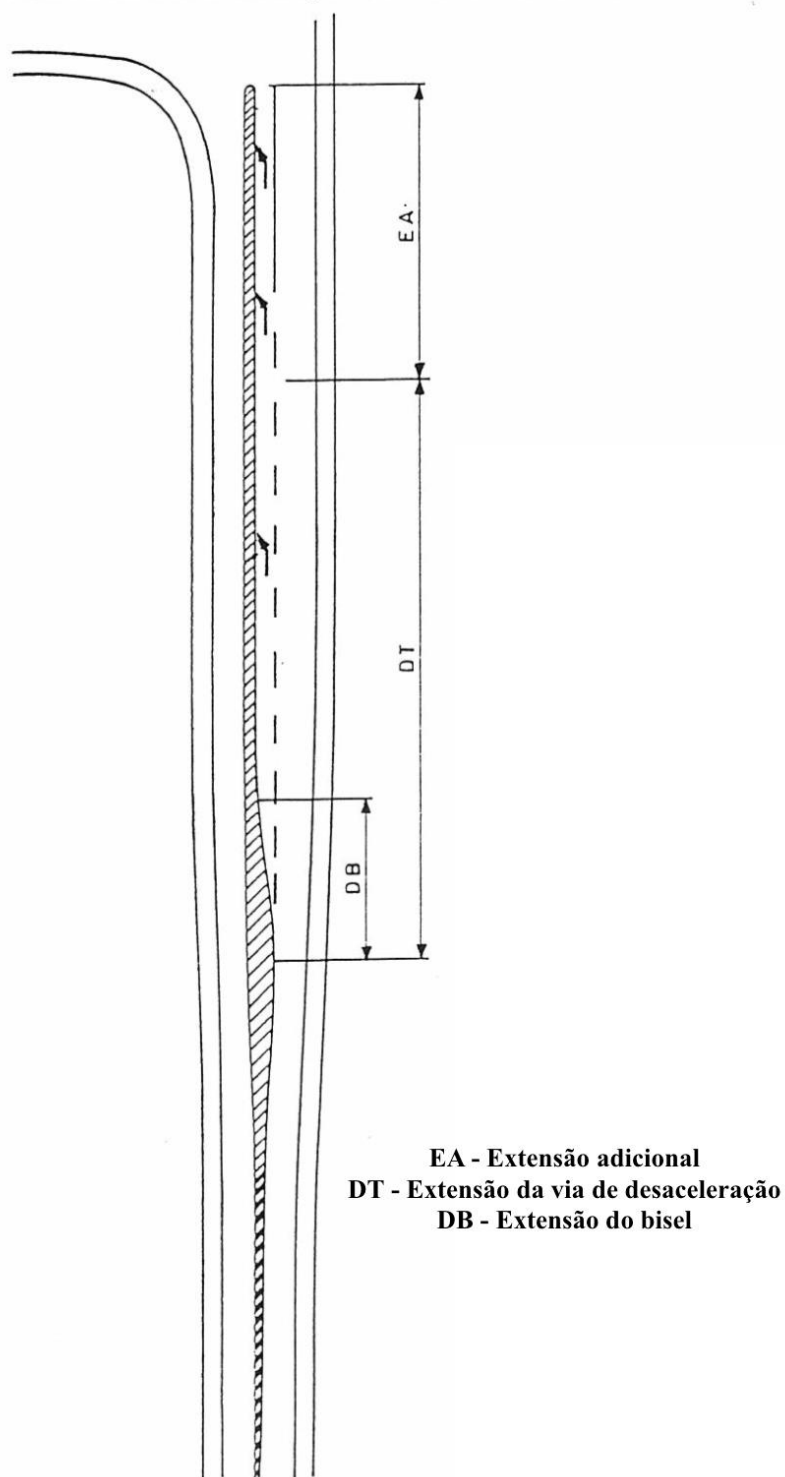


Figura 21 - Via de desaceleração do tipo paralelo [2]

Nas viragens à direita o traçado das vias de desaceleração pode ser do tipo diagonal (Figura 22), conforme a trajetória dos veículos. Esta via de aceleração, tem a sua extensão medida a partir da secção com uma largura de 1,0 metro. A largura desta via é variável ao longo da extensão do bisel (EB), o que resulta numa configuração facilmente entendida por parte dos condutores.

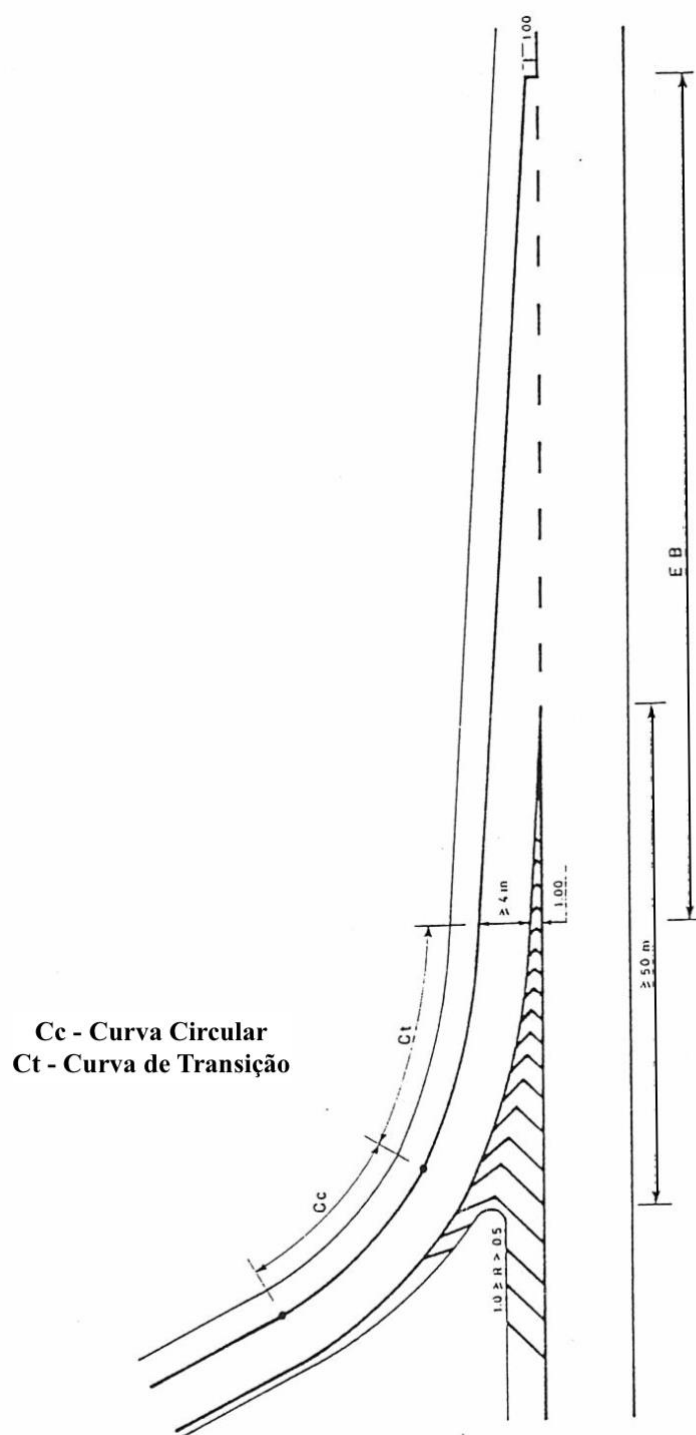


Figura 22 - Via de desaceleração do tipo direto [2]

Esta via de desaceleração é composta por um bisel de saída retilíneo, uma curva de transição, que é percorrida a uma desaceleração constante, e um arco de círculo. A largura desta via não deve ser inferior a 4,0 metros e é dependente da sobrelargura da curva. A extensão do bisel (EB), é estimada em função da velocidade base da via principal e do raio da curva circular, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Extensão do bisel das vias de desaceleração do tipo direto [2]

Velocidade base (km/h)	< 90	100	120			
Raio da curva (m)	> 15	> 25	40	45	50	> 60
Extensão do bisel (m)	80	110	145	135	125	110

Os volumes de tráfego tanto da via principal, como dos veículos que efetuam viagens à direita, definem a utilização deste tipo de vias. Esta consideração é realizada através dos ábacos de utilização (Figura 23).

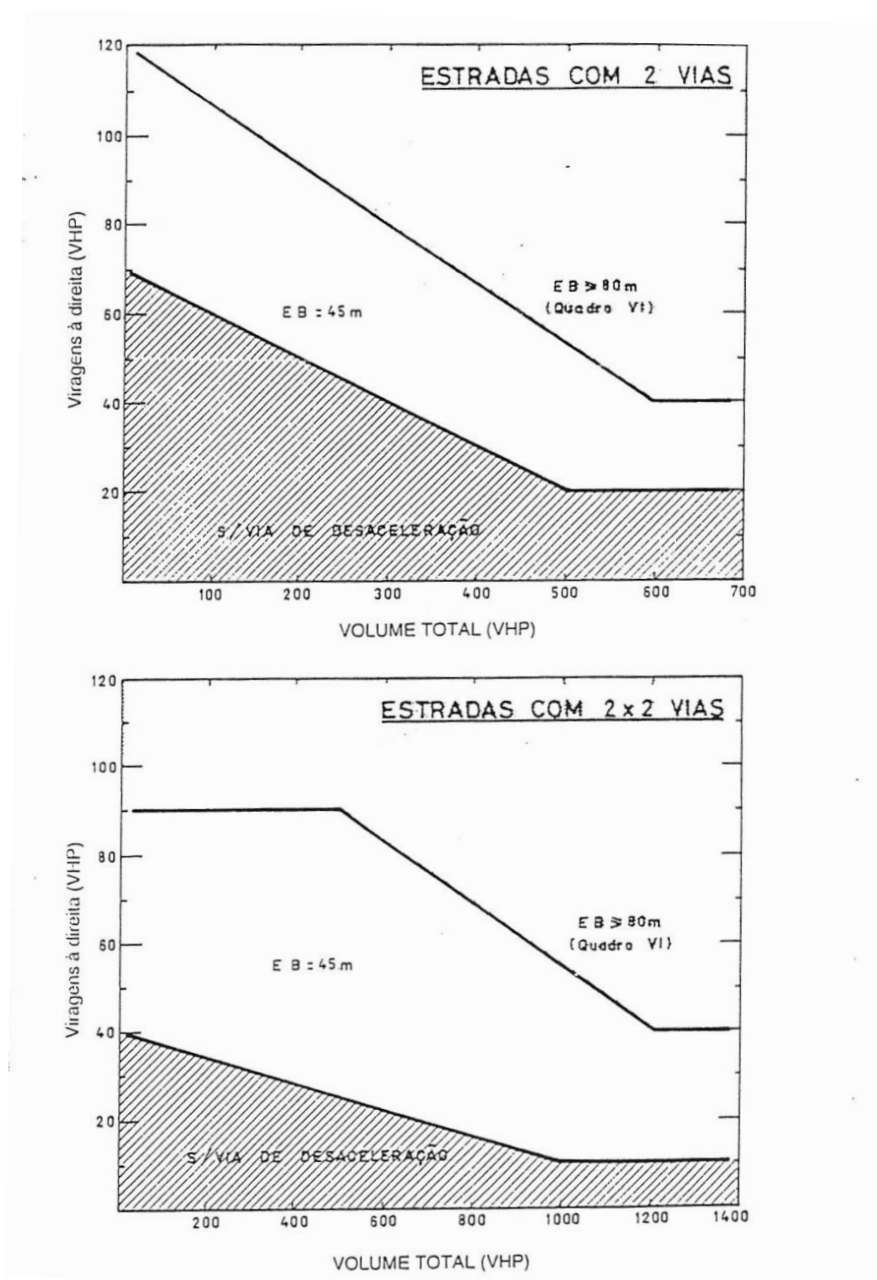


Figura 23 - Ábaco de utilização, vias de desaceleração do tipo direto [2]

As extensões das vias de desaceleração tanto diretas, como paralelas são estimadas na “Norma de Intersecções” considerando rasantes com inclinações longitudinais inferiores a 3%. Nos casos em que a inclinação das rasantes for igual ou superior a 3%, deverão ser adotados fatores de correção às extensões das Tabelas 2 e 3. Na tabela 4 são indicados os fatores de correção a considerar em função da inclinação da rasante.

Tabela 4 - Fatores de correção devidos à inclinação da rasante [2]

Inclinação da rasante	Rampa	Declive
3 a 4 %	0,90	1,20
5 a 6 %	0,8	1,35

3.2.1.3. Vias aceleração e dimensões

De acordo com a “Norma de Intersecções” e estudos experimentais realizados nos Estados Unidos [5], as vias de aceleração do tipo paralelo (Figura 24) são as mais aconselháveis. As vias de aceleração são compostas por: um *taper* ou bisel; uma parte retilínea paralela à via principal, com largura constante de 3,5 metros; uma curva de transição; e um arco de círculo.

Este tipo de vias é utilizado em nós de ligação e em intersecções de nível quando a estrada principal for de 2x2 vias.

Tal como as vias de abrandamento, a extensão das vias de aceleração é definida em função da velocidade base da estrada principal, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Extensão das vias de aceleração [2]

Velocidade base (km/h)	60	80	90	100	>110
Extensão total (AT) (m)	140	180	210	240	270
Extensão do bisel (AB) (m)	50	50	75	75	75

3.2.1.4. Conclusões

Após análise da documentação existente em Portugal, mais particularmente a Norma de Intersecções e a Norma de Nós de Ligação, verifica-se que o dimensionamento das vias de aceleração e desaceleração é pouco preciso. Nomeadamente na Norma de Nós de Ligação, quando o dimensionamento é realizado para autoestradas, apenas existem esquemas de traçado para as vias de aceleração e desaceleração.

Os dois métodos presentes nas normas são incoerentes, para casos semelhantes existe uma diferença no valor da extensão das vias auxiliares. Além da diferença de resultados, denota-se que os valores obtidos para extensão são baixos e desta forma não se consegue garantir a segurança nas entradas e saídas da estrada principal. A falta de precisão das extensões das vias auxiliares considerada nas normas está relacionada com o facto de o dimensionamento ser feito apenas considerando a velocidade base da via principal e no caso das vias de abrandamento considerando também a inclinação da rasante. Outra questão, é o valor da aceleração não ser considerado nas vias de aumento de velocidade.

O fraco rigor no dimensionamento das vias auxiliares, em especial de aceleração, é causa de muitos dos acidentes ocorridos nas estradas portuguesas.

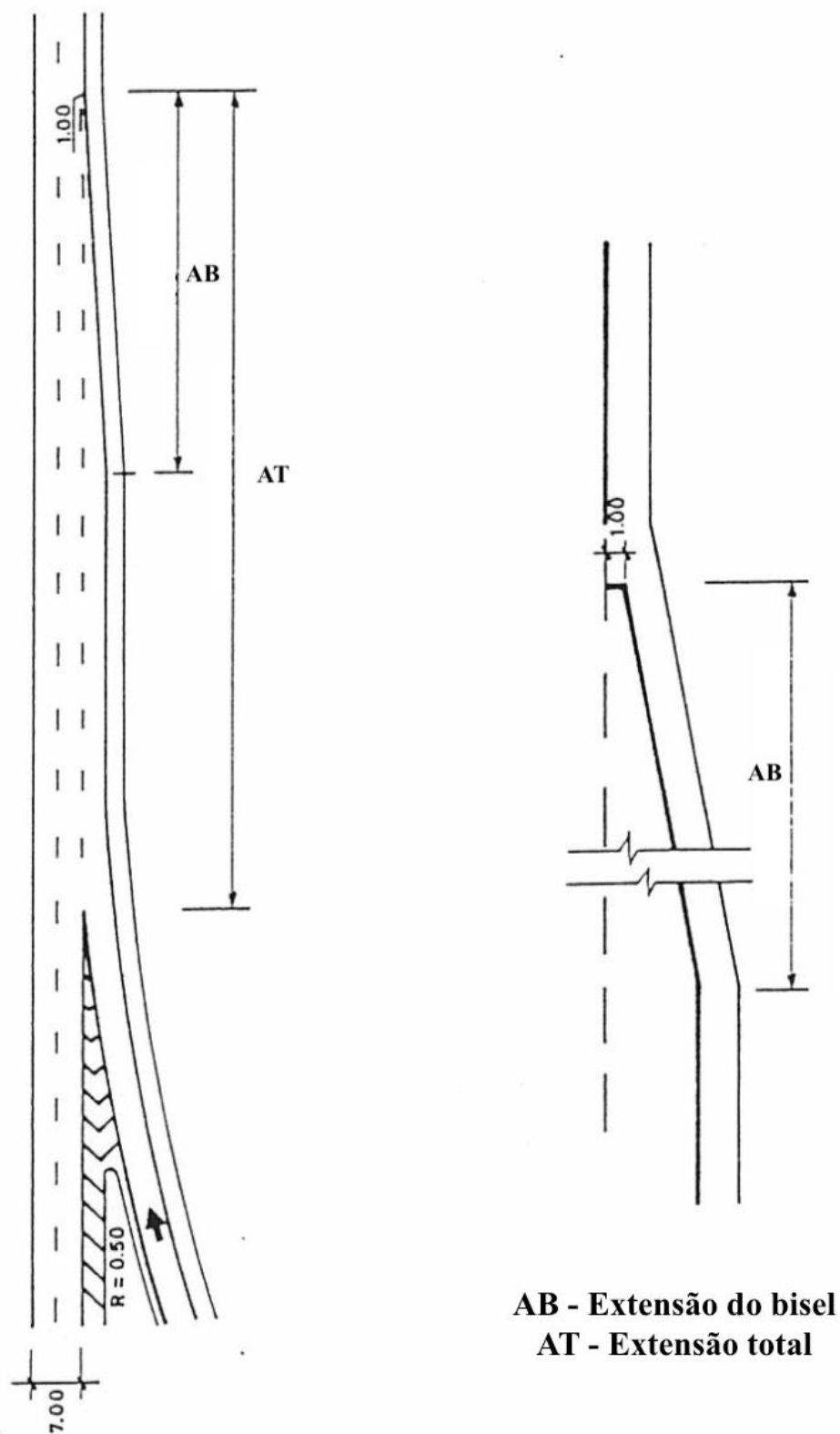


Figura 24 - Via de aceleração [2]

3.2.2. ESPANHA

3.2.2.1. Generalidades

Em Espanha o dimensionamento das vias auxiliares de aceleração e de desaceleração é feito tendo por base as normas espanholas, mais especificamente a Norma 3.1-IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras [6], aprovado no Boletín Oficial del Estado, (BOE) número 55, de 4 de Março de 2016, por despacho do Ministério de Obras Públicas de Espanha.

Tal como as normas portuguesas esta norma contempla todas as bases para o projeto de estradas incluindo a definição e o dimensionamento das vias auxiliares de mudança de velocidade.

3.2.2.2. Via de aceleração e desaceleração

A norma espanhola considera duas classes de vias de mudança de velocidade: vias de aceleração e desaceleração. Dentro destas duas classes existem dois tipos de vias auxiliares (Figura 25):

- Paralelo, este tipo consiste numa faixa auxiliar de mudança de velocidade paralela à via principal, com largura constante, e um *taper* no seu extremo;
- Direto, este tipo consiste numa faixa de mudança de velocidade de largura variável, que é tangente à parte interior berma da estrada principal ou forma com a berma da estrada um ângulo cuja cotangente não é menor que 20, nem ultrapassa 35.

Em Espanha, as vias auxiliares de aceleração e abrandamento são sempre do tipo paralelo. Porém, quando a velocidade de projeto é inferior a 100 km/h e em casos devidamente justificados, as vias de abrandamento poderão ser do tipo direto.

Esta norma define também que as vias de mudança de velocidade têm duas secções características, como apresentado na Figura 25:

- Secção característica de 0,0 m: esta secção é aquela em que a largura da secção do *taper*, medida perpendicularmente ao eixo da estrada principal a partir da berma, seja nula (0,00 m). Corresponde à secção característica inicial da via de desaceleração e à secção característica final da via de aceleração.
- Secção característica de 1,0 m: esta secção é aquela em que a separação entre os limites da estrada principal e da via de mudança de velocidade, medida perpendicularmente ao eixo da estrada principal, seja um metro (1,00 m). Corresponde à secção característica inicial da via de aceleração e à secção característica final da via de desaceleração, do tipo direto e paralelo. Excecionalmente, se não for possível uma separação de um metro entre os limites da estrada principal e da via auxiliar, considera-se secção característica, a secção em que a separação entre os limites é nula (0,00 m).

Estas duas secções características definem a secção inicial e final das vias auxiliares, a distância entre si é a extensão da via auxiliar e no caso das vias de mudança de velocidade do tipo paralelo, inclui a extensão do *taper*.

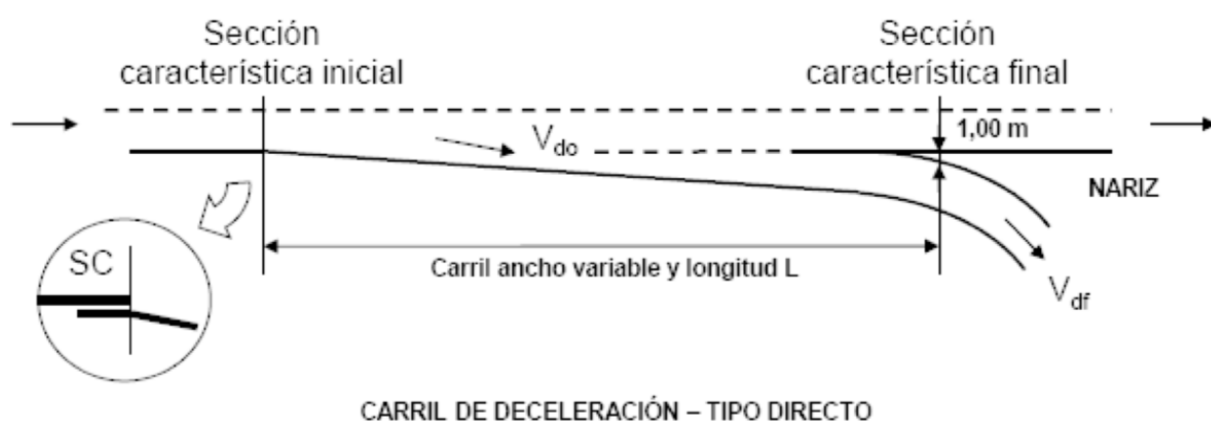
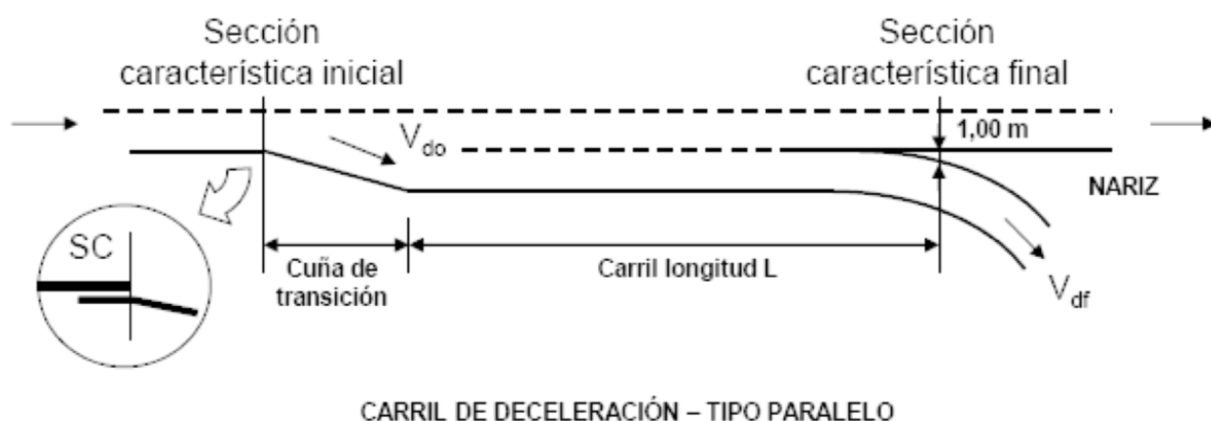
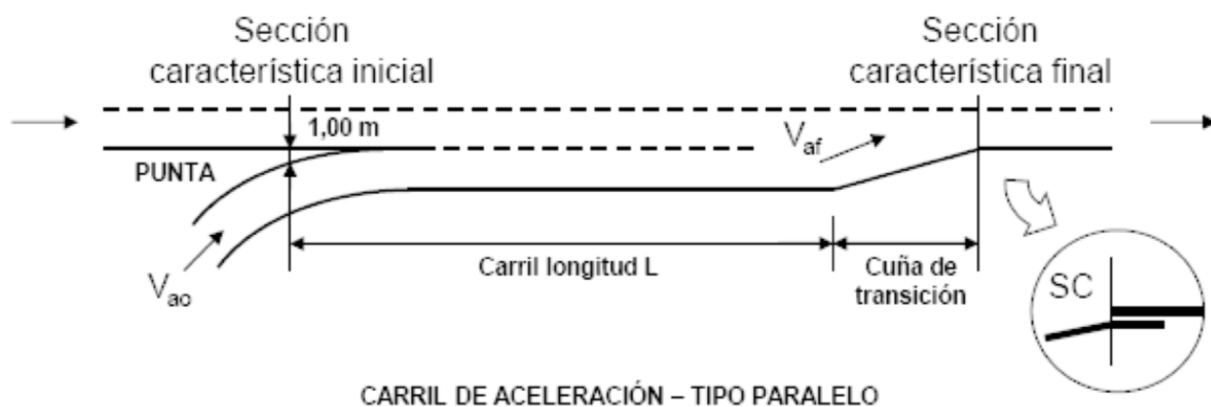


Figura 25 - Vias de mudança de velocidade [6]

3.2.2.3. Dimensões

As vias de mudança de velocidade do tipo paralelo, adjacentes à estrada principal, têm uma largura constante de 3,50 metros. As bermas das vias auxiliares, independentemente do tipo, são iguais às da estrada principal.

Nas vias auxiliares do tipo paralelo, a extensão do *taper*, presente no extremo inicial das vias de desaceleração e no extremo final das vias de aceleração, é obtida em função da velocidade de tráfego da estrada principal.

Na norma espanhola, a extensão total das vias auxiliares incluindo a extensão do *taper*, é obtida considerando uma aceleração constante e em função de:

- Velocidade de tráfego na estrada principal, ou seja, a velocidade final no caso das vias de aceleração e a velocidade inicial do caso das vias de abrandamento;
- Velocidade específica no ramo de ligação, isto é, a velocidade final no caso das vias de abrandamento e a velocidade inicial no caso das vias de aceleração;
- Inclinação dos trainéis, sejam estes em rampa ou em declive.

As Tabelas 6 e 7, apresentam as extensões das vias de abrandamento e os respetivos fatores multiplicativos a aplicar em função da inclinação. As tabelas 8, 9 e 10, apresentam as extensões das vias de aceleração e os fatores multiplicativos a aplicar em função da inclinação. O cálculo das extensões das vias de mudança de velocidade foi realizado utilizando as expressões presentes no Anexo A2.

Tabela 6 - Extensão das vias de desaceleração para trainéis com inclinação menor a 3% [6]

Velocidade específica do ramo (km/h)		STOP	25	30	40	50	60	80
Raio mínimo da curva (m)			15	25	45	75	120	250
Velocidade da estrada principal (km/h)	Taper (m)	Extensão da via de desaceleração incluindo o taper (L) (m)						
50	45	70	50	45	45			
60	55	90	70	70	55	55		
70	60	105	90	90	75	60	60	
80	65	120	105	105	90	75	65	
100	75	140	125	125	110	95	80	75
120	90	160	145	145	130	130	110	90

Tabela 7 - Fatores multiplicativos para vias de desaceleração [6]

Inclinação (%)			
Rampa 3 a 4	Rampa 5 a 6	Declive 3 a 4	Declive 5 a 6
0,9	0,8	1,2	1,35

Tabela 8 - Extensão das vias de aceleração para trainéis com inclinação menor a 3% [6]

Velocidade específica do ramo (km/h)		STOP	25	30	40	50	60	80
Raio mínimo da curva (m)			15	25	45	75	120	250
Velocidade da estrada principal (km/h)	Taper (m)	Extensão da via de aceleração incluindo o <i>taper</i> (L) (m)						
Estradas com grande intensidade de tráfego								
50	45	90	70	55	45			
60	55	140	120	105	90	55		
70	60	185	165	150	135	100	60	
80	65	235	215	200	175	150	105	
100	75	340	320	305	290	255	210	105
120	90	435	425	410	390	360	300	210
Outras estradas								
50	45	55	45	45	45			
60	55	90	75	65	55	55		
70	60	125	110	90	75	60	60	
80	65	165	150	130	110	85	65	
100	75	255	235	220	200	170	120	75
120	90	340	320	300	275	250	195	100

Tabela 9 - Fatores multiplicativos para vias de aceleração [6]

Velocidade específica no ramo (km/h)	30	40	50	60	80	Todas
Inclinação (%)	Rampa - 3 a 4 %					Declive - 3 a 4 %
Velocidade da estrada principal (km/h)	50	1,3	1,3			0,7
	60	1,3	1,3	1,3		0,7
	70	1,3	1,3	1,3	1,3	0,65
	80	1,4	1,4	1,4	1,4	0,75
	100	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7
	120	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9

Tabela 10 - Fatores multiplicativos para vias de aceleração (continuação) [6]

Velocidade específica no ramo (km/h)	30	40	50	60	80	Todas
Inclinação (%)	Rampa - 5 a 6 %					Declive - 5 a 6 %
Velocidade da estrada principal (km/h)	50	1,5	1,5			0,6
	60	1,5	1,5	1,5		0,6
	70	1,5	1,5	1,6	1,6	0,55
	80	1,6	1,6	1,7	1,8	0,55
	100	1,8	1,9	2	2,2	2,6
	120	2,1	2,2	2,3	2,6	3,1

3.2.2.4. Conclusões

Em comparação com as normas portuguesas, as normas espanholas usam maiores extensões para as vias auxiliares de mudança de velocidade, particularmente no caso das vias de aceleração. Estas extensões são maiores na totalidade, como também na extensão do *taper*. A justificação desta diferença deve-se ao facto do valor final da extensão, em Espanha, ser obtido em função da velocidade específica no ramo de ligação, da velocidade de tráfego na estrada principal e da inclinação dos trainéis.

Desta forma, denota-se um rigor maior no método dimensionamento das vias de mudança de velocidade de Espanha, o que permite obter vias auxiliares mais seguras e que satisfaçam a necessidade dos condutores.

3.2.3. ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA

3.2.3.1. Generalidades

Tal como em Portugal e Espanha, o planeamento e dimensionamento das vias auxiliares de mudança de velocidade, nos Estados Unidos, é realizado por guias de design próprios do país. O livro *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 6th Edition, 2011 [7], publicado pela American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), define as práticas de design para projetos geométricos de autoestradas. Este documento serve como orientação no projeto de estradas e inclui a caracterização e dimensionamento das vias auxiliares.

Nos Estados Unidos as vias auxiliares são divididas em vias auxiliares de entrada e vias auxiliares de saída, podendo estas ser do tipo diagonal ou do tipo paralelo. O tipo diagonal, tal como nos outros países, fornece a entrada ou saída direta da estrada principal a um ângulo plano. O tipo paralelo, consiste numa via adicional adjacente à via principal cujo objetivo é auxiliar as mudanças de velocidade.

3.2.3.2. Vias auxiliares de entrada, configurações e dimensões

Nas Figuras 26-A e 26-B, são apresentadas as duas configurações de vias auxiliares de entrada segundo o guia de projeto geométrico Americano.

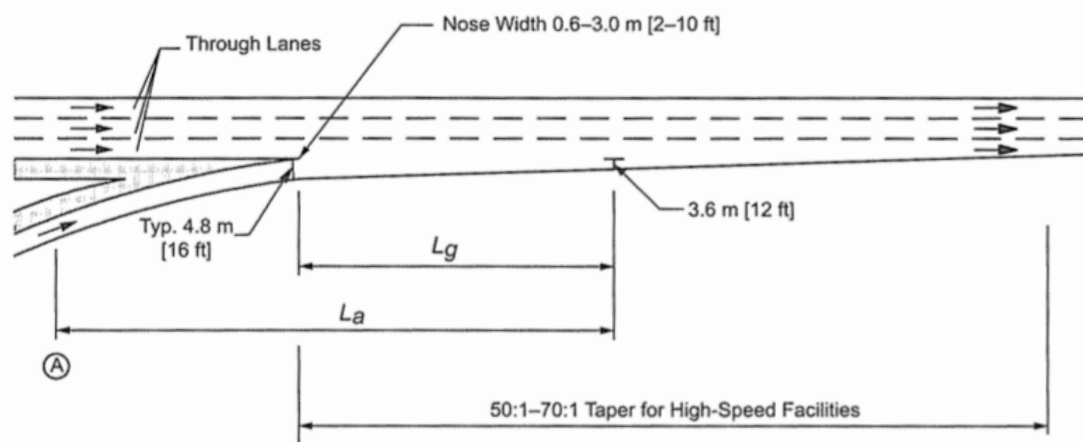
A configuração diagonal (Figura 26-A), quando projetada corretamente permite ao condutor encontrar e entrar num intervalo entre veículos da corrente de tráfego, quando a mudança de velocidade é relativamente pequena.

A entrada deste tipo é incorporada na estrada principal, através de um *taper* retilíneo e uniforme. A extensão do *taper* inclui também a extensão necessária para o condutor encontrar um intervalo entre veículos na via principal. Na figura 26, são apresentados os valores mínimos para a extensão necessária para o condutor encontrar um intervalo entre veículos (L_g).

Os valores mínimos a considerar, em condições de grandes volumes de tráfego, para o nariz é 0,6 m, para a largura da faixa de entrada 4,8 m e para o rácio do *taper* 50:1.

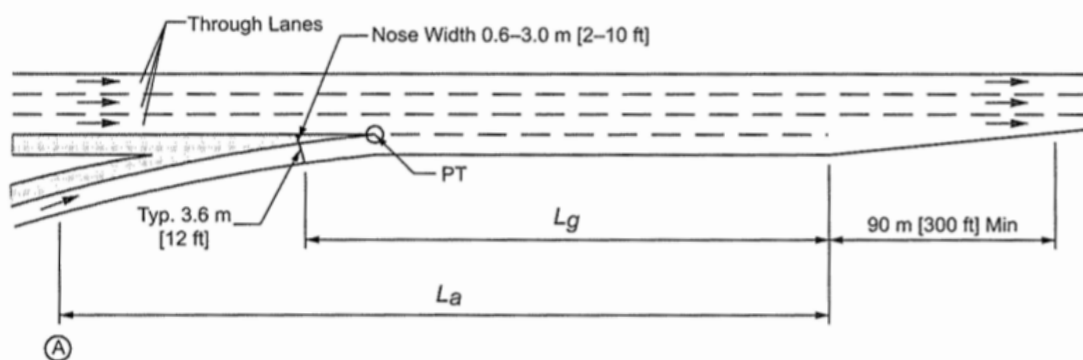
A configuração do tipo paralelo (Figura 26-B), consiste numa via adicional que permite ao condutor atingir a velocidade da estrada principal, antes de entrar na mesma. O fim desta faixa adicional é constituído por um *taper*.

O *taper*, na parte final desta configuração, deve ser projetado de forma a permitir a entrada gradual do veículo na faixa adjacente à via auxiliar. A extensão do *taper* adequada para velocidades da via principal de 110 km/h deve ser no mínimo 90 m.



Tapered Design

— A —



Parallel Design

— B —

Notes:

1. L_a is the required acceleration length as shown in Table 10-3 or as adjusted by Table 10-4.
2. Point A controls speed on the ramp. L_a should not start back on the curvature of the ramp unless the radius equals 300 m [100 ft] or more.
3. L_g is the required gap acceptance length. L_g should be a minimum of 150 m [300 ft to 500 ft] depending on the nose width.
4. The value of L_a or L_g , whichever produces the greater distance downstream from where the nose equals 0.6 m [2 ft], is suggested for use in the design of the ramp distance.

Figura 26 - Vias auxiliares de entrada [7]

A extensão de aceleração (L), na configuração diagonal (Figura 27), é medida desde o fim da curva do ramo de ligação até ao ponto em que a largura da faixa de rodagem da via auxiliar, medida perpendicularmente ao eixo da via principal, é de 3,6 metros. A partir deste ponto de largura 3,6 m, a via auxiliar intersecta berma da estrada principal em *taper* com um rácio entre 50:1 e 70:1.

Na configuração paralela (Figura 28), a extensão (L) é medida desde o fim da curva do ramo de ligação até a parte inicial do *taper*, sendo a dimensão do *taper* no mínimo de 90 metros. A extensão total das vias de entrada engloba extensão de aceleração e do *taper*.

A extensão necessária para o ganho de velocidade do veículo, depende do diferencial de velocidades entre a velocidade da estrada principal e a velocidade de entrada na curva do ramo de ligação.

Na Figura 29, são apresentados os valores mínimos para a extensão de aceleração, para vias auxiliares de entrada do tipo diagonal e paralelo, em função das velocidades referidas.

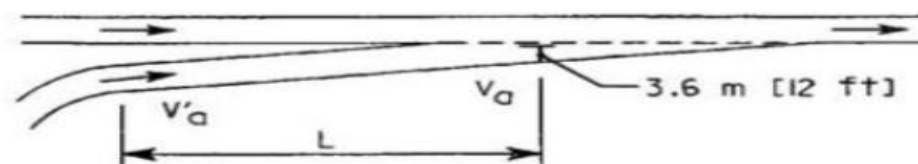


Figura 27 - Via de aceleração do tipo diagonal [7]

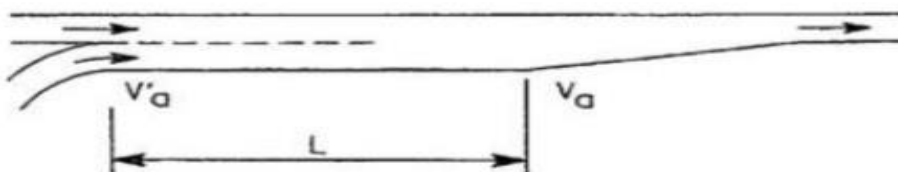


Figura 28 - Via de aceleração do tipo paralelo [7]

Metric									
Acceleration length, L (m) for entrance curve design speed (km/h)									
Highway	Stop condition	20	30	40	50	60	70	80	
Design speed, V (km/h)	Speed reached, V _a (km/h)	and initial speed, V _a (km/h)							
		0	20	28	35	42	51	63	70
50	37	60	50	30	—	—	—	—	—
60	45	95	80	65	45	—	—	—	—
70	53	150	130	110	90	65	—	—	—
80	60	200	180	165	145	115	65	—	—
90	67	260	245	225	205	175	125	35	—
100	74	345	325	305	285	255	205	110	40
110	81	430	410	390	370	340	290	200	125
120	88	545	530	515	490	460	410	325	245

Note: Uniform 50:1 to 70:1 tapers are recommended where lengths of acceleration lanes exceed 400 m.

Figura 29 - Extensão das vias de aceleração para trainéis com inclinação menor a 2% [7]

Na Figura 30, são apresentados os fatores multiplicativos para vias auxiliares de entrada em função da inclinação, uma vez que a Figura 29 considera inclinações praticamente planas de 2% ou menos.

Metric						
Design speed of highway (km/h)	Deceleration lanes					
	Ratio of length on grade to length on level for design speed of turning curve (km/h) ^a					
All speeds	3 to 4% upgrade 0.9			3 to 4% downgrade 1.2		
All speeds	5 to 6% upgrade 0.8			5 to 6% downgrade 1.35		
Design speed of highway (km/h)	Acceleration lanes					
	Ratio of length on grade to length of level for design speed of turning curve (km/h) ^a					
	40	50	60	70	80	All speeds
	3 to 4% upgrade					3 to 4% downgrade
60	1.3	1.4	1.4	—	—	0.7
70	1.3	1.4	1.4	1.5	—	0.65
80	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	0.65
90	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	0.6
100	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8	0.6
110	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8	0.6
120	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8	0.6
	5 to 6% upgrade					5 to 6% downgrade
60	1.5	1.5	—	—	—	0.6
70	1.5	1.6	1.7	—	—	0.6
80	1.5	1.7	1.9	1.8	—	0.55
90	1.6	1.8	2.0	2.1	2.2	0.55
100	1.7	1.9	2.2	2.4	2.5	0.5
110	2.0	2.2	2.6	2.8	3.0	0.5
120	2.3	2.5	3.0	3.2	3.5	0.5

Figura 30 - Fatores multiplicativos para vias de aceleração [7]

3.2.3.3. Vias auxiliares de saída, configurações e dimensões

Tal como as vias auxiliares de entrada, existem duas configurações possíveis apresentadas na Figura 31, sendo que a configuração diagonal pode ser direta ou curvilínea.

O tipo diagonal (Figura 31-A e 31-B), permite aos condutores um movimento direto na via auxiliar de saída. Em comparação às vias auxiliares de entrada, este tipo de design aplicado a vias de desaceleração é mais seguro e cómodo. Este tipo de via de abrandamento, quando corretamente dimensionado, permite aos condutores sair da via principal a velocidades altas e que a mudança de velocidade seja feita na extensão da via auxiliar. Desta forma, não ocorrem quaisquer abrandamentos na via principal, evitando assim possíveis acidentes. O ângulo de divergência do *taper*, está compreendido entre 2 e 5 graus.

A via de saída de configuração paralela (Figura 31-C), começa com um *taper*, seguida de uma faixa adicional paralela à via principal, tal como a via paralela de entrada. Esta via, permite ao condutor uma redução de velocidade mais confortável, uma vez que, a mudança de velocidade é feita numa via à parte.

Contudo, os condutores que não entram na via de desaceleração no início da mesma, podem criar risco de acidente na via principal, uma vez que, a desaceleração do veículo será feita ainda na estrada principal. Em locais onde o volume de tráfego é elevado, poderá ser adicionada à extensão desta via de desaceleração, um comprimento suficiente para acumulação de veículos. Este comprimento, tem como objetivo reduzir as interferências causadas pelos veículos que se encontram em fila para sair, na estrada principal.

O mínimo desejável para a extensão das vias de abrandamento é de 240 metros e é mais comum o uso de extensões maiores do que reduzidas, uma vez que, garantem mais segurança e comodidade.

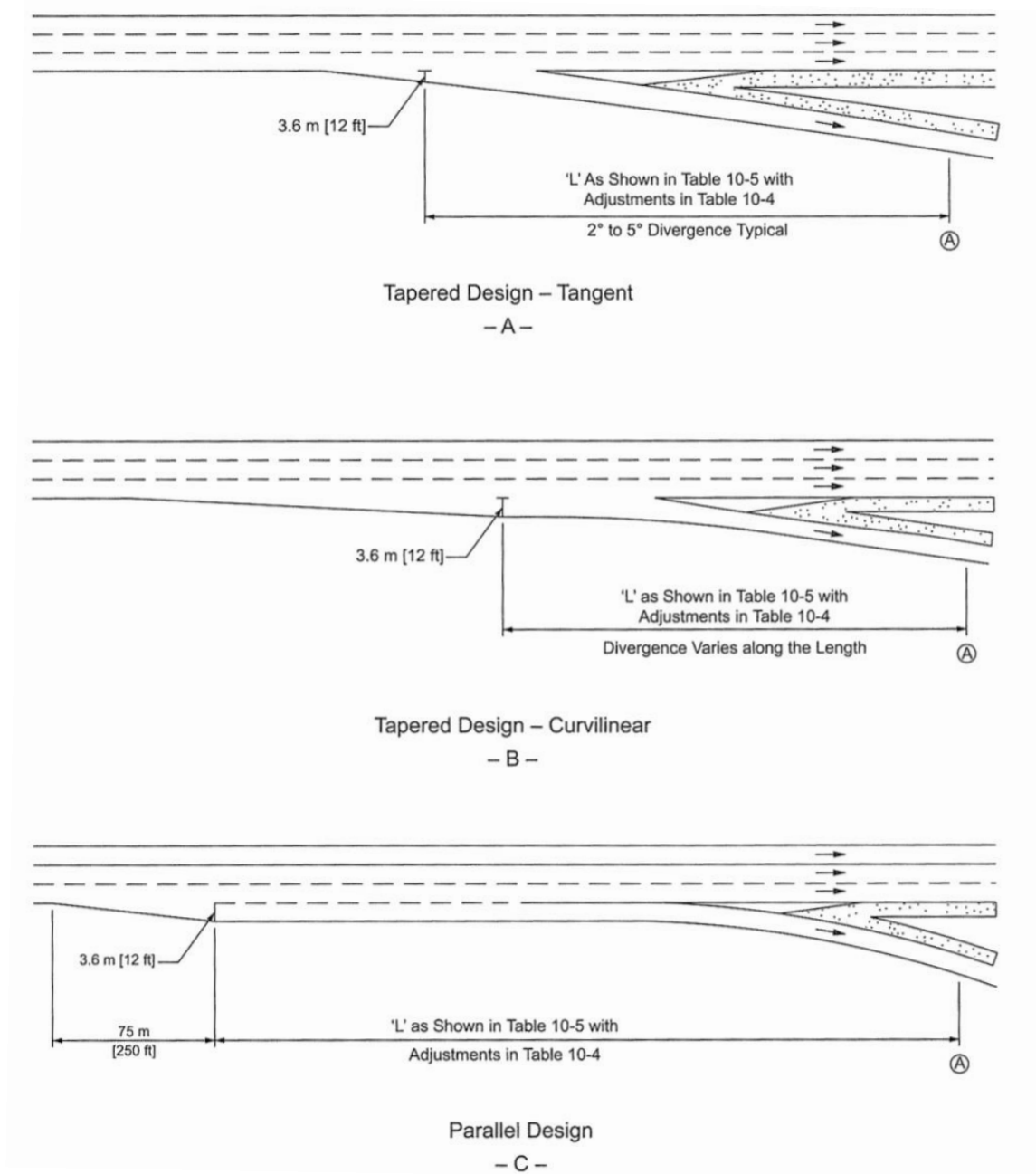


Figura 31 - Vias auxiliares de saída [7]

Os veículos devem abrandar logo após saírem da via principal até chegarem á curva do ramo de ligação.

A extensão de desaceleração (L) do tipo diagonal (Figura 32), é considerada desde o ponto em que a largura da faixa de rodagem da via auxiliar, medida perpendicularmente ao eixo da via principal, é de 3,6 metros e termina no início da curva do ramo de ligação.

A extensão da via de abrandamento (L) do tipo paralelo (Figura 33), é medida desde o final do *taper*, ponto a partir do qual a largura da via auxiliar é constante de 3,6 m, até ao início da curva do ramo de ligação. A extensão do *taper* normalmente é de 75 m, caso contrário, deverá estar compreendida entre um rácio de 15:1 e 25:1.

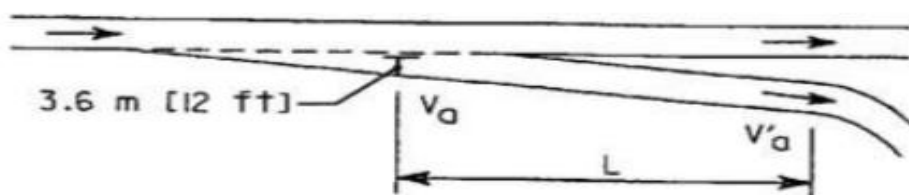


Figura 32 - Via de desaceleração do tipo diagonal [7]

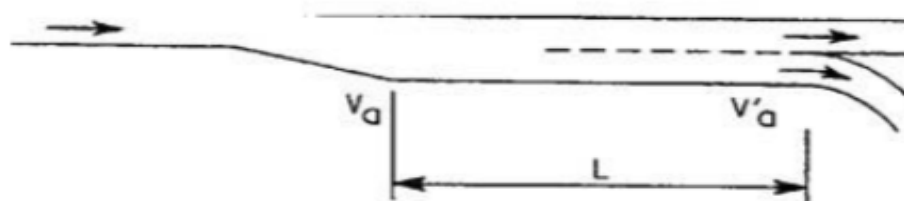


Figura 33 - Via de desaceleração do tipo paralelo [7]

A extensão necessária para a perda de velocidade do veículo depende, da velocidade da estrada principal e da velocidade de entrada na curva do ramo de ligação. No caso de existirem intersecções de nível na estrada secundária, como acontece nos nós de ligação em diamante, a extensão da via nestes casos é definida pela paragem do veículo e pela velocidade da estrada principal

Na Figura 34, são apresentados os valores mínimos para a extensão de abrandamento, para vias auxiliares de entrada do tipo diagonal e paralelo, em função das velocidades referidas. A extensão total é composta pela extensão necessária para o abrandamento e pela extensão do *taper*.

Na Figura 35, são apresentados os fatores multiplicativos para vias auxiliares de saída em função da inclinação, para inclinações superiores a 2%.

Metric									
Deceleration length, L (m) for design speed of exit curve V' (km/h)									
Highway design speed, V (km/h)	Speed reached, V_a (km/h)	Stop condition	20	30	40	50	60	70	80
		For average running speed on exit curve V'_a (km/h)							
		0	20	28	35	42	51	63	70
50	47	75	70	60	45	—	—	—	—
60	55	95	90	80	65	55	—	—	—
70	63	110	105	95	85	70	55	—	—
80	70	130	125	115	100	90	80	55	—
90	77	145	140	135	120	110	100	75	60
100	85	170	165	155	145	135	120	100	85
110	91	180	180	170	160	150	140	120	105
120	98	200	195	185	175	170	155	140	120

V = design speed of highway (km/h)
 V_a = average running speed on highway (km/h)
 V' = design speed of exit curve (km/h)
 V'_a = average running speed on exit curve (km/h)

Figura 34 - Extensão das vias de desaceleração para trainéis com inclinação menor a 2% [7]

Metric		
Design speed of highway (km/h)	Deceleration lanes	
	Ratio of length on grade to length on level for design speed of turning curve (km/h) ^a	
All speeds	3 to 4% upgrade 0.9	3 to 4% downgrade 1.2
All speeds	5 to 6% upgrade 0.8	5 to 6% downgrade 1.35

Figura 35 - Fatores multiplicativos para vias de desaceleração [7]

3.2.3.4. Conclusões

Após a análise da documentação existente nos Estados Unidos para o projeto de estradas, é possível concluir que as variáveis de entrada consideradas tanto no método de cálculo espanhol, como no método americano são semelhantes. Contudo, os resultados finais não coincidem, sendo que as extensões obtidas, para as vias auxiliares, pelo método americano, são superiores às do método espanhol e não incluem a extensão do *taper*.

Dado que, o livro da AASHTO não explica o método utilizado para os valores obtidos [5], apesar das variáveis de entrada utilizadas e a consideração de uma aceleração do veículo constante, ser comum nos dois países. A diferença de resultados poderá estar relacionada com o método de cálculo utilizado, em cada país, e a aceleração considerada não ser a mesma.

Tanto os guias de projeto espanhóis, como os americanos, são mais rigorosos que Portugal no cálculo da extensão das vias auxiliares. No entanto, o guia de dimensionamento das vias de mudança de velocidade dos Estados Unidos, remetem para valores da extensão maiores, o que pode resultar em vias auxiliares mais seguras.

4

CONCEÇÃO DAS VIAS AUXILIARES – CONCEITOS TEÓRICOS

4.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O projeto de estradas exige diversos conhecimentos associados à geometria do traçado, disposições normativas, comportamento dos condutores, características de movimento dos veículos, características do tráfego, segurança rodoviária, meio ambiente, entre outras. Além de conhecimentos teóricos, é necessário ter um senso prático da matéria. Nem sempre é possível satisfazer todas as condições impostas, porque cada caso é um caso, e os fatores que influenciam o planeamento variam. A consideração racional e a capacidade de adaptabilidade às condicionantes de cada situação, é importante nos projetos rodoviários.

No presente caso de estudo, é necessário o conhecimento das normas e conceitos teóricos, relativos à caracterização e dimensionamento das vias auxiliares. Para isso serão utilizadas a Norma de Nós de Ligação [3], a Norma de Intersecções [2], a Norma do Traçado [1] e respetivas revisões, e a sebenta de Vias de Comunicação 1 [9].

As vias auxiliares, como referido no capítulo anterior, são vias que auxiliam a mudança de velocidade do veículo que vai entrar ou sair da estrada principal. Estas vias, garantem a segurança e comodidade tanto dos condutores que circulam na estrada principal, como os que saem ou entram na mesma.

As vias auxiliares estão associadas à mudança de velocidade, o que torna a velocidade um elemento fundamental no dimensionamento das mesmas. A Norma do Traçado diferencia a velocidade em três tipos: velocidade base/velocidade de projeto, velocidade de tráfego e velocidade específica.

Velocidade base, é definida como a velocidade máxima que deverá ser garantida ao longo de todo o traçado e resulta da função da estrada na rede nacional. Para que haja uniformidade e fácil compreensão por parte dos condutores, a velocidade base deve ser o mais constante possível. Esta velocidade permite definir a maior parte das características geométricas do traçado, tais como: raio mínimo em planta, inclinação máxima dos trainéis e os perfis transversais tipo.

Velocidade de tráfego, é a velocidade correspondente ao percentil 85, normalmente considerada como velocidade crítica, uma vez que, velocidades superiores a esta não são seguras para as condições existentes. Esta velocidade, permite uma perceção mais realista da variação da velocidade dos veículos em função das características do traçado, principalmente nos alinhamentos retos. A velocidade de tráfego é considerada no dimensionamento das distâncias de visibilidade e raios mínimos das concordâncias verticais, em autoestradas. Os valores da velocidade de tráfego correspondentes a cada velocidade base, são apresentados na Tabela 11 segundo a Revisão da Norma do Traçado de 2013 [8].

Tabela 11 - Velocidades de tráfego nas estradas [8]

Velocidade base (km/h)	Velocidade de tráfego (km/h)
40	50
50	60
60	80
70	90
80	100
90	110
100	120
110	125
120	130
130	135
140	140

Velocidade específica, é a velocidade máxima que o veículo pode atingir com segurança, em qualquer elemento do traçado considerado de forma isolada. Esta velocidade, deve ser considerada nos elementos fundamentais do projeto onde as características dependem da visibilidade. Contudo, não é conveniente considerar a velocidade específica para cada elemento na definição das características geométricas do traçado da estrada. Normalmente considera-se a velocidade de tráfego como representativa da velocidade específica.

No planeamento das vias de mudança de velocidade também é importante saber o conceito de distância de visibilidade. A Norma do Traçado, diferencia a distância de visibilidade em três tipos: distância de visibilidade de paragem, distância de visibilidade de decisão e distância de visibilidade de ultrapassagem.

Distância de visibilidade de paragem é a extensão necessária para que o condutor, que circula a determinada velocidade, ao ver um obstáculo consiga parar o veículo. A distância de visibilidade de decisão, é a extensão necessária para que o condutor tenha perceção das características da estrada e tome medidas antecipadamente e com segurança. Esta distância de visibilidade é considerada nas intersecções, nós de ligação, etc. Distância de ultrapassagem, é a distância mínima necessária, nas estradas com duas vias, para que um veículo ultrapasse um outro veículo com segurança.

A documentação existente, que auxilia o dimensionamento das vias de mudança de velocidade, nos países analisados, relaciona a velocidade e inclinação da rasante com extensão das vias auxiliares. Na norma portuguesa, é apenas considerada a velocidade base da estrada principal para definir a extensão das vias de aceleração. No caso das vias de abrandamento, é considerada a velocidade base da via principal e o raio da primeira curva, na definição da extensão das vias de abrandamento com rasantes sensivelmente horizontais. Para rasantes com inclinação igual ou superior a 3%, são considerados fatores de correção.

Na comparação com os documentos espanhóis e americanos, concluiu-se que a abordagem das vias auxiliares nas normas portuguesas é pouco rigorosa e não garante a segurança nas entradas e saídas da estrada principal. Os métodos utilizados em Espanha e nos Estados Unidos, foram considerados mais precisos no dimensionamento das vias de mudança de velocidade, dado que a extensão das vias é obtida em função da velocidade específica da curva do ramo de ligação, da velocidade da estrada principal e da inclinação dos trainéis. Desta forma, é obtida uma extensão mais precisa e segura para as vias auxiliares.

Uma boa percepção do comportamento dos condutores, do comportamento dos veículos e das suas características, é essencial no dimensionamento e caracterização das vias auxiliares.

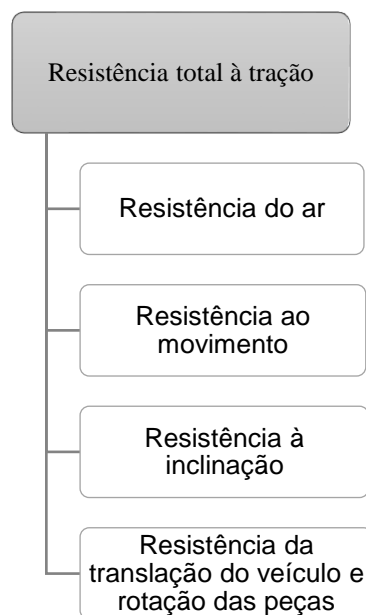
No método espanhol e americano, é considerada uma aceleração constante do veículo. Na realidade, o condutor que entra numa via de aceleração não tem aceleração constante, a aceleração do veículo varia em função das mudanças engrenadas na caixa de velocidades. Neste estudo, será feito o dimensionamento das vias auxiliares de aceleração e abrandamento, em função do movimento do veículo, isto é, tendo em conta as mudanças de velocidade, as consequentes acelerações e o espaço percorrido nessas mudanças. Para isso, é necessário ter conhecimentos sobre a matéria da tração e das características do veículo.

Neste capítulo, serão apresentados conceitos e normas relacionados com as vias auxiliares e com o comportamento dos veículos, mais particularmente do seu movimento. Na análise do movimento do veículo, é necessário definir o veículo tipo e as suas características. A seleção do veículo e as suas especificações, é apresentado em anexo.

4.2. TRAÇÃO

Um veículo quando se desloca, têm de vencer uma série de resistências, estas resistências são superadas pelo esforço que o veículo desenvolve, chamado de esforço de tração.

Para o cálculo do esforço de tração, a resistência total à tração é dividida em resistências parciais.



4.2.1. RESISTÊNCIA DO AR

O ar, cria uma resistência no veículo quando este se move, causada pela pressão exercida pela massa de ar na parte frontal do veículo, pelo atrito que se vai manifestando ao longo das suas superfícies laterais e pela depressão na sua parte traseira.

A resistência do ar, W_a (em N), é quantificada pela seguinte expressão:

$$W_a = 0,049 \cdot \mu \cdot S_f \cdot V^2 \quad (1)$$

Onde:

μ – coeficiente de forma (Veículos pesados=0,9; ligeiros=0,3 a 0,35)

S_f – superfície frontal do veículo (m²)

V – velocidade (km/h)

W_a – resistência do ar (N)

4.2.2. RESISTÊNCIA AO MOVIMENTO

O veículo quando se move, é submetido a uma resistência ao movimento provocada pela deformação do pneu e pela rugosidade do pavimento. O valor da resistência ao movimento (W_m), varia com a velocidade, mas é normalmente considerado constante:

$$W_m(N) \begin{cases} 0,02 \cdot P \text{ (veículos ligeiros)} \\ 0,03 \cdot P \text{ (veículos pesados)} \end{cases} \quad (2)$$

(3)

Onde:

P – peso do veículo (N)

W_m – resistência ao movimento (N)

4.2.3. RESISTÊNCIA À INCLINAÇÃO

Um veículo, quando se movimenta numa superfície inclinada (Figura 36), tem de vencer uma resistência associada à inclinação (W_i).

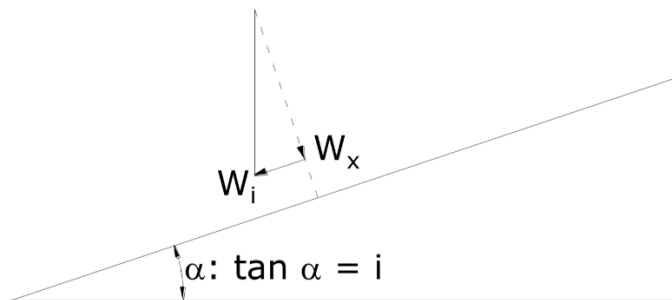


Figura 36 - Forças que o veículo é submetido em superfície inclinada [9]

Para inclinações inferiores a 9%, a resistência à inclinação é obtida pela seguinte expressão:

$$W_i = P \cdot \text{sen} \alpha = P \cdot \text{tan} \alpha = P \cdot (\pm i) \quad (4)$$

Onde:

W_i – resistência à inclinação (N)

P – peso do veículo (N)

i – inclinação (- em declives; + em rampas)

4.2.4. RESISTÊNCIA À TRANSLAÇÃO DO VEÍCULO E À ROTAÇÃO DAS SUAS PEÇAS

O veículo quando se desloca, além da translação que sofre, tem peças constituintes que são submetidas a movimentos de rotação (Figura 37).



Figura 37 - Rotação das peças e translação do veículo [9]

Estes movimentos, provocam resistência à movimentação do veículo, o que significa que além do esforço de translação, existe um esforço adicional de rotação. Este esforço é considerado para veículos leves 6% e para veículos pesados 10% do esforço de translação (φ_t).

$$\varphi_t = 0,1 \cdot P \cdot j \quad (5)$$

$$W_j (N) \left\{ \begin{array}{l} 0,106 \cdot P \cdot j \text{ (veículos leves)} \\ 0,11 \cdot P \cdot j \text{ (veículos pesados)} \end{array} \right. \quad (6)$$

$$(7)$$

Onde:

φ_t – esforço de translação (N)

P – peso da viatura (N)

j – aceleração do veículo (m/s^2)

W_i – resistência da translação do veículo e rotação das peças

4.2.5. ESFORÇO DE TRAÇÃO

O movimento do veículo é traduzido na equação geral do movimento, pela seguinte expressão:

$$\varphi = P \cdot (W_m \pm W_i + W_j) + W_a \quad (8)$$

Substituindo as expressões 1, 2, 4 e 6 resulta:

$$\varphi = P \cdot (0,02 \pm i + 0,11 \cdot j) + 0,049 \cdot \mu \cdot Sf \cdot V^2 \quad (9)$$

Através desta equação, é possível verificar o esforço que as diversas resistências exigem do motor do veículo. No subcapítulo seguinte, será apresentado como relacionar o esforço de tração com o binário e potência, característicos do motor do veículo.

4.2.6. RELAÇÕES ENTRE POTÊNCIA, BINÁRIO E ESFORÇO DE TRAÇÃO

4.2.6.1. Sistema de transmissão

Antes de se prosseguir às relações entre grandezas, é necessário ter uma noção simples do sistema de transmissão de um veículo (Figura 38). O motor de um veículo, produz um movimento rotativo provocado pelo movimento alternativo dos êmbolos. Este movimento emerge no volante do motor e é transmitido para as rodas através do sistema de transmissão.

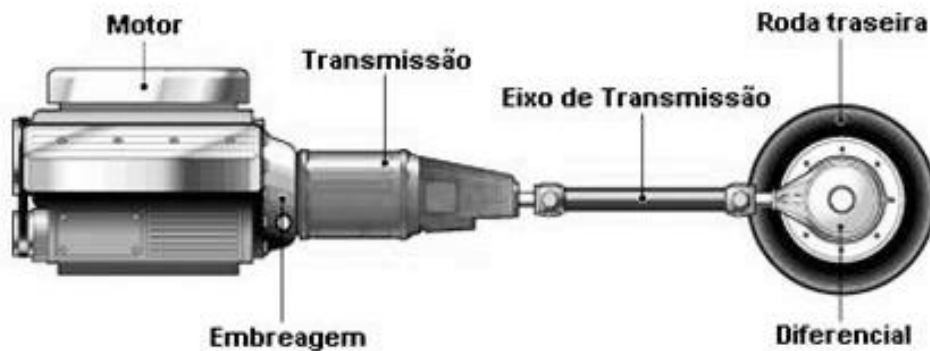


Figura 38 - Esquema do sistema de transmissão [9]

O movimento rotativo, é reduzido na caixa de velocidades, com uma razão de desmultiplicação (d'), em função da mudança engrenada. A razão de desmultiplicação é definida por:

$$d' = \frac{n'(\text{r.p.m. das rodas motrizes})}{n(\text{r.p.m. do motor})} \quad (10)$$

O movimento é de seguida reduzido no diferencial (d''), sendo este valor constante e característico do veículo. A razão de desmultiplicação global (d) é então definida pela seguinte expressão:

$$d = d' \times d'' \quad (11)$$

Neste ponto, a velocidade linear do veículo pode ser determinada sabendo a razão de desmultiplicação e o número de rotações do motor, através da seguinte expressão:

$$V = 2. \pi. R \times \frac{3,6}{60} \times n \times d \quad (12)$$

Onde:

V – velocidade linear do veículo (km/h)

r – raio da roda do veículo (m)

n – regime de rotação do motor (r.p.m.)

d – razão de desmultiplicação global para a mudança engrenada

4.2.6.2. Relação potência – esforço de tração

A relação entre os esforços de tração (φ) e a potência, é feita primeiramente nas rodas motrizes, definida pela expressão:

$$\theta_r = \varphi \times v \quad (13)$$

Com:

θ_r – potência nas rodas (W)

φ – esforço de tração (N)

v – velocidade nas rodas (m/s)

Uma vez que, para uma certa potência nas rodas, a potência no motor será superior. Existe uma relação entre a potência nas rodas e a potência no motor em função do rendimento da transmissão:

$$\theta = \frac{\theta_r}{\rho} \quad (14)$$

Com:

θ_r – potência nas rodas (W)

θ – potência do motor (W)

ρ – rendimento da transmissão

Considerando a velocidade em km/h e a relação apresentada na expressão 14, a simplificação da relação entre potência e esforço de tração é:

$$\theta = \frac{\varphi \times V}{3600 \times \rho} \quad (15)$$

Com:

θ – potência do motor (kW)

ρ – Rendimento da transmissão

φ – esforço de tração (N)

V – velocidade nas rodas (km/h)

4.2.6.3. Relação potência – binário do motor

A potência a nível do motor é calculada pela expressão:

$$\theta = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n \cdot \frac{1}{60} \times F \quad (16)$$

Com:

r – raio da rotação biela manivela (m)

n – velocidade de rotação do sistema biela/manivela (r.p.m.)

F – componente tangencial à circunferência criada pela rotação biela/manivela (kN)

Como o binário do motor é dado por:

$$\Gamma = F \times r \quad (17)$$

Substituindo na expressão 16, tem-se:

$$\Gamma = 9,54 \times \frac{\theta}{n} \quad (18)$$

Com:

Γ – binário do motor (kJ)

θ – potência do motor (kW)

n – regime de rotação do motor (r.p.m.)

4.2.6.4. Relação esforço de tração – binário do motor

A ligação entre a potência nas rodas e no volante do motor é relacionada pelo rendimento da transmissão:

$$\rho = \frac{\theta r}{\theta}$$

$$\Leftrightarrow \rho = \frac{F.2.\pi.R.n.d}{F.2.\pi.r.n}$$

$$\Leftrightarrow \varphi = \frac{\Gamma.\rho}{R.d} \quad (19)$$

Em que:

Γ – binário do motor (J)

ρ – rendimento da transmissão

R – raio da roda do veículo (m)

d – razão de desmultiplicação para a mudança engrenada

φ – esforço de tração (N)

4.2.7. TRAVAGEM

A distância percorrida pelo veículo, desde que os travões são acionados é importante para estimar a extensão necessária de abrandamento ou até de paragem. Nesta situação, não existe tração ($\varphi=0$), uma vez que a embraiagem é pressionada a fundo e o esforço resultante da ação dos travões, é igual ao esforço frenante unitário (f), multiplicado pelo peso total do veículo. A equação geral do movimento para este caso será:

$$\varphi = P. (0,02 \pm i + 0,11.j) + 0,049.\mu.Sf.V^2 + P.f = 0 \quad (20)$$

4.3. VIAS AUXILIARES

As vias auxiliares, como apresentado no capítulo anterior, têm duas configurações nos três países analisados, podem ser do tipo diagonal (Figura 39) e do tipo direto (Figura 40).

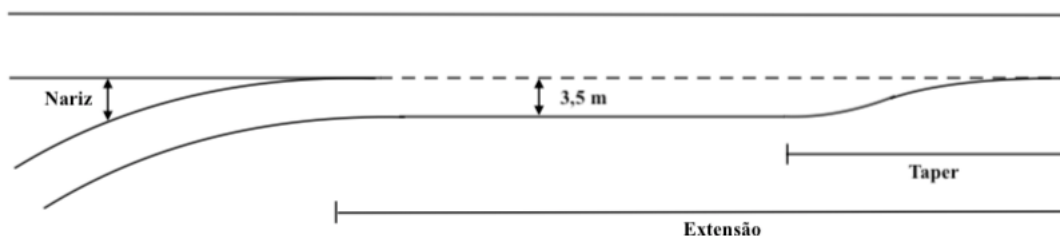


Figura 39 - Via auxiliar do tipo paralelo

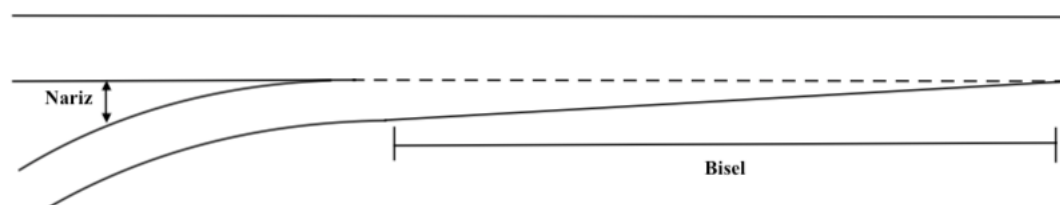


Figura 40 - Via auxiliar do tipo diagonal

A configuração mais segura e normalmente adotada, é do tipo paralelo. Esta configuração, é constituída por um *taper* e um troço reto de largura constante (3,5 m).

4.3.1. CONSTRUÇÃO DO TAPER

O *taper*, é composto por duas curvas circulares de sentido contrário, com tangente comum. Este elemento geométrico, permite a transição da via auxiliar de largura constante para a faixa rodagem da via principal adjacente, é utilizado no início da via auxiliar para vias de abrandamento e no fim da via auxiliar para vias de aceleração.

O uso do *taper*, é comum também no aumento ou diminuição do número de vias da faixa de rodagem e no início de um separador central.

A construção de um *taper* em reta é feita com base no esquema da Figura 41.

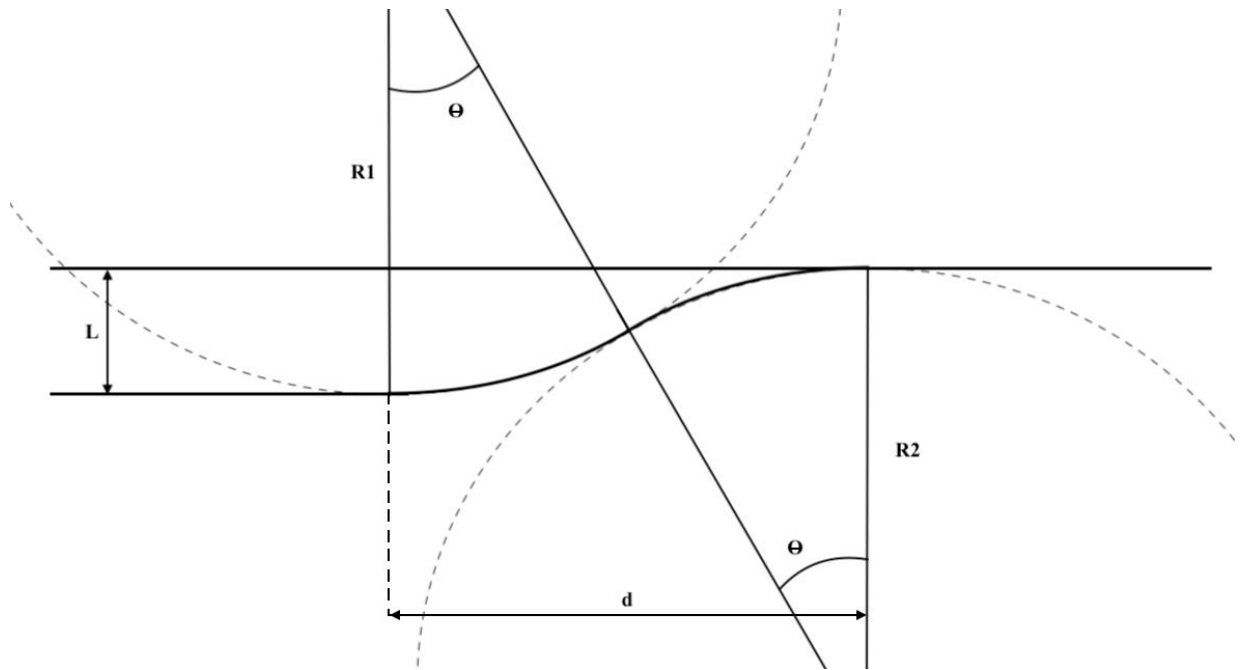


Figura 41 - Construção do taper em reta [10]

O valor de L e de d é normalmente sabido, as incógnitas na construção do *taper* são os raios das curvas do *taper* e o ângulo formado da perpendicular à faixa de rodagem e o ponto de transição das curvas do *taper*. Tendo em conta a Figura é possível deduzir os elementos em falta:

$$\begin{cases} (R1 + R2) - L = (R1 + R2) \times \cos(\theta) \\ d = (R1 + R2) \times \sin(\theta) \end{cases} \quad (21)$$

Ao desenvolver o sistema utilizando as relações geométricas, tem-se:

$$\begin{cases} \theta = 2 \times \tan^{-1}\left(\frac{L}{d}\right) \\ R1 + R2 = \frac{d}{\sin(\theta)} \end{cases} \quad (22)$$

Sendo:

d – comprimento do *taper* (m)

L – largura da via auxiliar (m)

$R1$ e $R2$ – raios das curvas do *taper* (m)

θ – ângulo formado entre perpendicular à faixa de rodagem e o ponto de transição da curva do *taper*

Supondo $R_1=R_2$ e conhecendo o valor de L e d , através das expressões do sistema 22, facilmente se obtém os parâmetros necessários à construção do *taper*.

O *taper* nem sempre se encontra inserido em reta, no caso da construção do *taper for* feita em curva, deve ter como base o esquema da Figura 42.

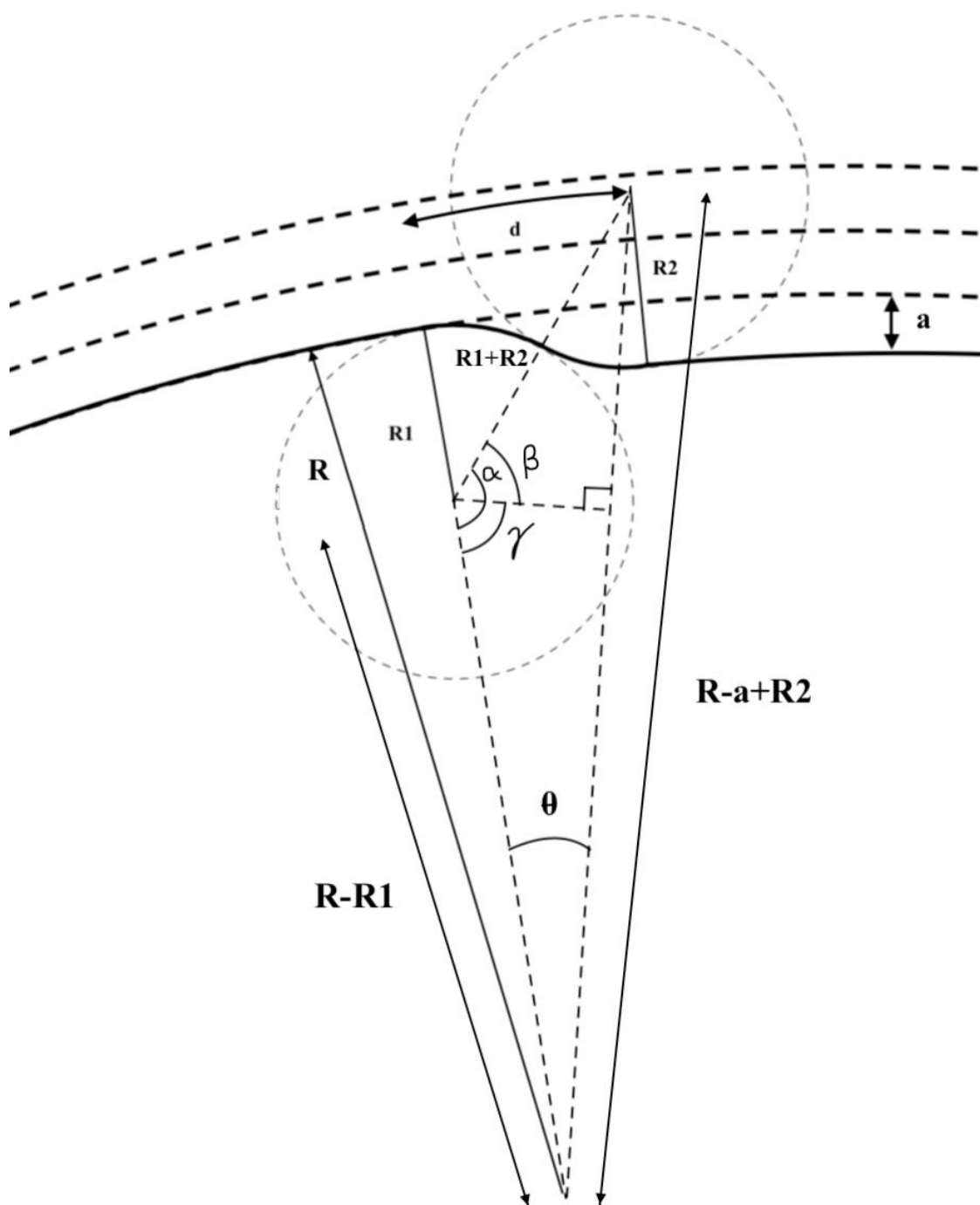


Figura 42 - Construção do taper em curva [10]

Com o esquema apresentado é possível deduzir dois ângulos diretamente $\beta = \alpha - (\pi/2 - \theta)$ e $\gamma = \pi/2 - \theta$. Tendo em consideração o esquema e, novamente, as relações trigonométricas, obtém-se o seguinte sistema final:

$$\begin{cases} (R - a + R2)^2 = (R - R1)^2 + (R1 + R2)^2 - 2 \times (R - R1) \times (R1 + R2) \times \cos(\alpha) \\ (R1 + R2) \times \sin\left(\alpha + \frac{d}{R}\right) = (R - R1) \times \sin\left(\frac{d}{R}\right) \end{cases} \quad (23)$$

O valor do raio da curva da estrada principal (R), da extensão do *taper* (d) e da largura da via auxiliar (L), já é previamente conhecido na construção do *taper* em curva. Arbitrando R1 facilmente se obtêm os elementos desconhecidos através das expressões do sistema 23.

4.3.2. LOCALIZAÇÃO

As entradas e saídas da estrada principal devem ser localizadas em alinhamentos retos. Desta forma é possível garantir uma boa visibilidade e boas condições operacionais do tráfego. Nem sempre é possível a localização das entradas e saídas em alinhamentos retos. No caso de a localização ser em curva, as vias de aceleração e abrandamento do tipo diagonal, terão de ter um bisel em curva com raio semelhante ao raio da estrada principal (ver Anexo A3). No entanto, para velocidades elevadas é preferível a configuração do tipo paralelo. Dado que o tipo diagonal, principalmente nas vias de desaceleração, pode confundir os condutores que circulam na via mais à direita da estrada principal e fazer com que estes sigam para o ramo de ligação [3].

A localização das saídas deve ser preferencialmente antes das estruturas do nó de ligação, a fim de assegurar uma melhor visibilidade da mesma. Nas situações em que tal não é possível e a saída for depois da estrutura, é necessário garantir aos condutores uma boa distancia de visibilidade para que, após atravessarem a estrutura, tenham perceção da via de desaceleração e consigam fazer a saída sem interferir com a corrente de tráfego da estrada principal.

As entradas localizadas após uma estrutura, devem ter um afastamento aceitável desta, para que seja possível ao condutor que está na via de aceleração, entrar na estrada principal sem ter a visão obstruída.

Em resumo, a localização das vias de abrandamento e aceleração deve ser preferencialmente em alinhamentos retos e antes das estruturas. Desta forma garantem-se melhores condições de segurança e visibilidade.

4.3.3. CUNHA E NARIZ

A zona triangular imediatamente a seguir a uma divergência ou imediatamente antes de uma convergência da estrada principal, é designada por “cunha”. O vértice definido pela intersecção das vias, é designado por “nariz”. A extensão da zona triangular é variável entre 20,0 e 30,0 metros [3].

O traçado da “cunha”, tem especial importância nos ramos de ligação de saída, uma vez que é a zona de divergência da estrada principal e este, tem de permitir ao condutor uma boa visibilidade e compreensão dos seus limites. Para isso a “cunha” deve estar bem delimitada, sinalizada e com constante manutenção. A “cunha” deverá ser projetada para a velocidade base da estrada principal e de forma uniforme ao longo do seu itinerário.

Além do “nariz” referido anteriormente, existe o chamado “nariz” físico, que se situa atrás ou á frente do “nariz” pintado. A largura do “nariz” físico, para ramos de ligação de saída, é definida em função da velocidade base. Para uma velocidade base de 100 km/h, o “nariz” físico tem uma largura de 6 metros e para uma velocidade base de 120 km/h, o “nariz” físico tem uma largura de 9 metros. Nos ramos de ligação de entrada, é considerado uma largura na base da “cunha” de 3 metros [3].

Nas Figuras 39 e 40, é identificado o nariz físico. Facilmente se percebe que a zona triangular posterior é a “cunha” e o vértice é o “nariz” pintado.

4.3.4. DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE

No planeamento geométrico das entradas e das saídas da estrada principal, é necessário ter em consideração os valores da distância de visibilidade. Nas autoestradas deve-se assegurar que a distância de visibilidade de decisão, é superior à distância de visibilidade de paragem. Desta forma, o condutor consegue tomar decisões atempadamente e evita movimentos indesejados que põem em causa a segurança.

A distância de visibilidade mínima a assegurar nas saídas da estrada principal, é determinada em função da velocidade base da estrada (Tabela 12), presente na Norma de Nós de Ligação. Esta distância foi obtida considerando um observador com 1,0 metro de altura e um obstáculo com 0,15 metros de altura

Tabela 12 - Distância de visibilidade em função da velocidade base [3]

Velocidade base (km/h)	Distância de visibilidade (m)
100	330
110	370
120	400

A distância de visibilidade a assegurar nas entradas da estrada principal, deve permitir ao condutor que está no ramo de ligação de entrada, visibilidade sobre a faixa de rodagem antes deste chegar à via de aceleração. A visibilidade sobre a faixa de rodagem tem o objetivo de permitir que o condutor faça o reconhecimento prévio da faixa de rodagem e das prioridades, auxiliar a que a aceleração do veículo e entrada na estrada principal seja feita atempadamente e atempadamente prevenir o condutor das restrições de tráfego e da marcação rodoviária da estrada principal.

As distâncias de visibilidade desejáveis e mínimas, são indicadas na Figura 43. Quando não é possível assegurar a distância de visibilidade desejável, deverá assegurar-se a distância de visibilidade mínima. Nos casos em que o ângulo α é superior a 150 graus, o ramo de ligação de entrada deve ser o mais paralelo possível à estrada principal.

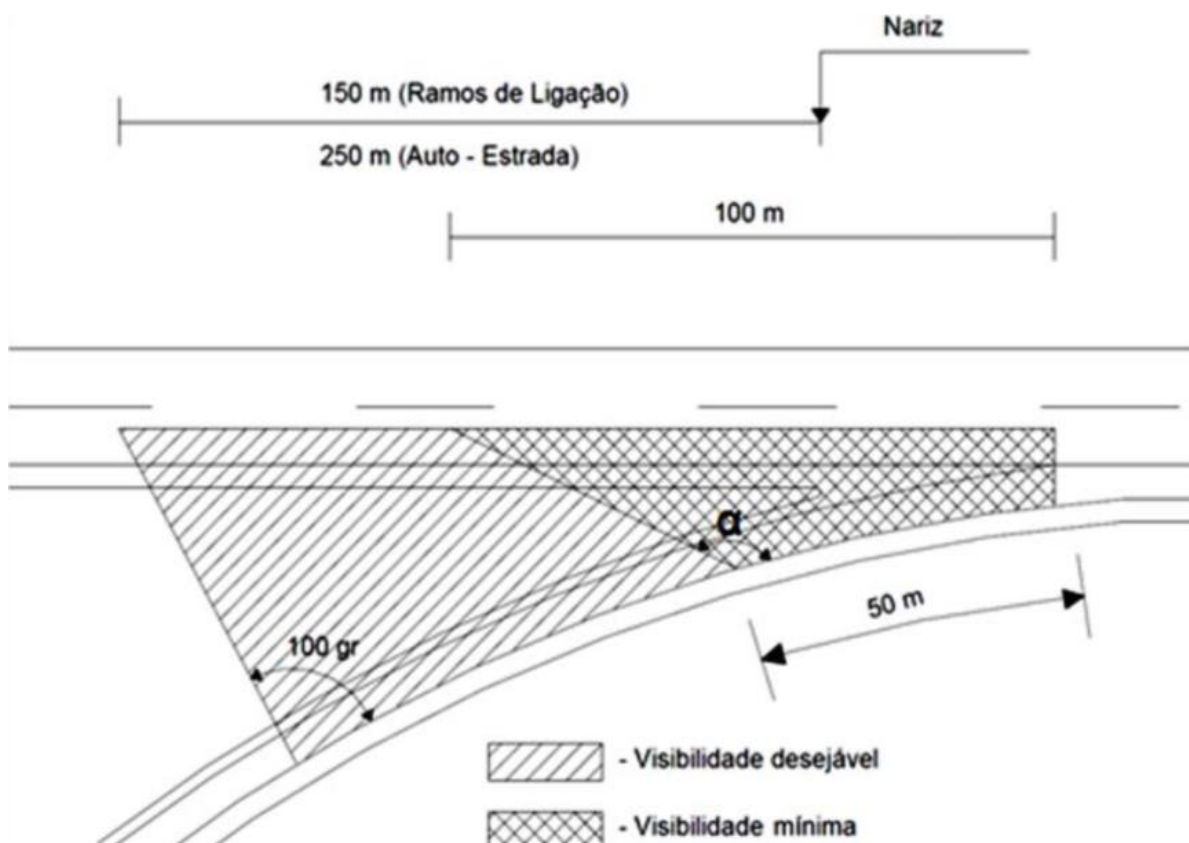
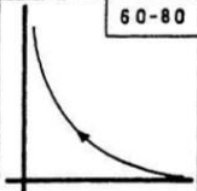
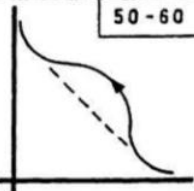
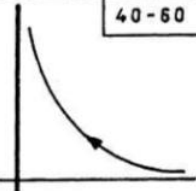
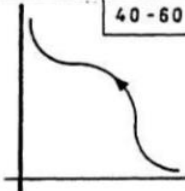
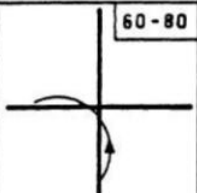
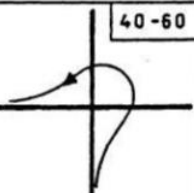
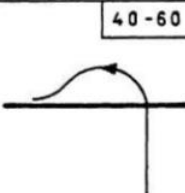
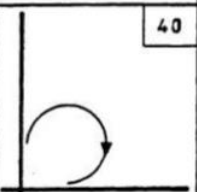

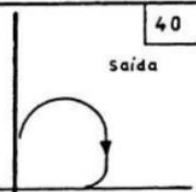
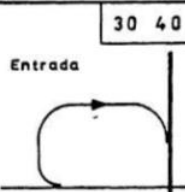
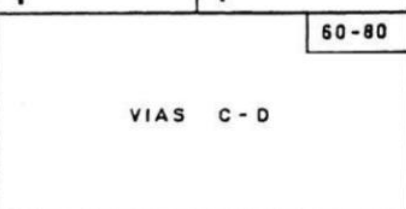
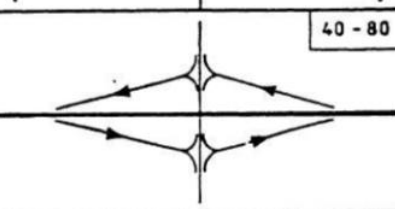


Figura 43 - Visibilidade nas entradas [3]

4.3.5. VELOCIDADES E RAIOS MÍNIMOS DOS RAMOS DE LIGAÇÃO

A velocidade e o raio mínimo dos ramos de ligação, são parte fundamental no dimensionamento das vias de mudança de velocidade. A velocidade no ramo definirá a velocidade inicial do veículo, no caso das vias de aceleração e a velocidade final, nas vias de desaceleração.

Na norma de nós de ligação, é indicado que a velocidade base de um ramo de ligação pode variar entre 40 e 80 km/h. A norma, indica também que a velocidade base de um ramo de ligação, idealmente seria 85% da velocidade base da estrada principal. Contudo, não é fácil projetar um ramo de ligação para estas condições, por razões económicas, topográficas, ambientais e da área disponível para implantação. Desta forma, a norma de nós de ligação indica os intervalos de velocidade a adotar em cada tipo de ramo de ligação (Figura 44).

RAMOS DE LIGAÇÃO	LIGAÇÕES ENTRE AUTO-ESTRADAS		LIGAÇÕES ENTRE OUTRAS ESTRADAS *	
	TRAÇADO			
	Normal	Adaptado	Normal	Adaptada
DIRECTO	 60-80	 50-60	 40-60	 40-60
SEMIDIRECTO	 60-80	 40-60	—	 40-60
INDIRECTO	 40	 Saída 40 Entrada 30	 Saída 40	 Entrada 30 40
(DIRECTO)	 60-80 VIAS C - D		 40-80	

* - Podendo uma delas ser auto-estrada

Figura 44 - Velocidade base nos ramos de ligação [3]

O veículo ao percorrer a curva circular do ramo de ligação, está sujeito a uma força centrífuga (F), cujo seu valor é dado por:

$$F = \frac{M.V^2}{3,6^2.R} \quad (24)$$

Com:

M – massa do veículo (kg)

V – velocidade do veículo (km/h)

R – raio da curva (m)

A resistência a esta força é garantida pela força de atrito transversal, que tem sentido contrário ao da força centrífuga e surge com a introdução da sobrelevação na curva. A condição de equilíbrio para esta situação, permite deduzir a seguinte expressão:

$$R = \frac{v^2}{127.(f_t + Se)} \quad (25)$$

Com:

R – raio da curva (m)

V – velocidade do veículo (km/h)

f_t – coeficiente de atrito transversal mobilizado

Se – sobrelevação

Na Revisão da Norma do Traçado de 2010 [11]. É atribuído o valor máximo do coeficiente de atrito transversal, correspondente a cada velocidade, é considerado o valor máximo da sobrelevação de 7% e desta forma, através da expressão 27, são determinados os raios mínimos (Tabela 13).

Tabela 13 - Coeficiente de atrito e raio mínimo da curva em função da velocidade no ramo [11]

Velocidade específica no ramo (km/h)	40	50	60	70	80
Coeficiente de aderência (f_t)	0,16	0,16	0,15	0,14	0,14
Raio mínimo da curva (m)	55	85	130	180	240

5

**CÁLCULO DA EXTENSÃO DAS VIAS
AUXILIARES****5.1. INTRODUÇÃO**

A análise das normas portuguesas, permite concluir que os valores considerados para a extensão das vias auxiliares são imprecisos, principalmente nas vias de aceleração. As extensões consideradas são curtas e não satisfazem as necessidades de um veículo em aceleração ou desaceleração, pondo em risco a segurança dos condutores na via principal e na via auxiliar. Além desta conclusão, é comum nas estradas portuguesas vias auxiliares com um fraco dimensionamento, razão de ocorrência de muitos acidentes.

Tanto as normas espanholas, como americanas, fazem uma abordagem no dimensionamento das vias auxiliares mais precisa, do que a feita nas normas portuguesas. Nestas abordagens são utilizadas um método de cálculo diferente do usado em Portugal, considerando para o cálculo da extensão das vias de mudança de velocidade: a velocidade da estrada principal; a velocidade no ramo de ligação; a inclinação dos trainéis; e uma aceleração/desaceleração constante de um veículo ligeiro.

Um veículo quando se movimenta está sujeito a diversas resistências, enunciadas no capítulo anterior. Além das resistências ao movimento, é pouco exato considerar uma aceleração constante do veículo, uma vez que, à medida que as mudanças são engrenadas na caixa de velocidades, a aceleração vai variando. Por outro lado, o veículo em desaceleração está sujeito não só a uma desaceleração, como também a um esforço frenante provocado pelo uso dos travões.

Neste capítulo, será calculada a extensão das vias auxiliares, objetivo desta dissertação, tendo em conta todos os fatores que na realidade influenciam o movimento de um veículo. Para isso, foi feita a seleção de um veículo tipo e foram consideradas as características físicas e mecânicas do veículo selecionado.

5.2. VEÍCULO-TIPO

A seleção do veículo foi feita através de uma análise das vendas de veículos no ano de 2017, concluiu-se que o veículo com mais unidades vendidas é o Renault Clio, mais especificamente o modelo 0.9 IV Limited TCe 90 cv (Anexo A4).

O veículo selecionado tem as seguintes características:

Peso em ordem de marcha: 10366 N;

Dimensões: largura: 1,732 m;

altura: 1,448 m;

Relação de desmultiplicação: Diferencial: 1/4,21

Caixa de Velocidades: - 1ª velocidade: 1/3,73

- 2ª velocidade: 1/1,96

- 3ª velocidade: 1/1,23

- 4ª velocidade: 1/0,90

- 5ª velocidade: 1/0,66

Potência máxima: 66 kW às 5000 r.p.m.

Binário motor máximo: 135 N.m das 2000 às 3500 r.p.m;

Diâmetro das rodas: 0,60 m.

Rendimento de transmissão: 0,90

5.3. CÁLCULO DA EXTENSÃO DAS VIAS DE ACELERAÇÃO

No cálculo das vias de aceleração, primeiramente será calculada a aceleração em cada mudança de velocidade e de seguida, o espaço percorrido nas mudanças de velocidade para a aceleração correspondente.

O primeiro passo, consiste em calcular a tração máxima em cada mudança engrenada na caixa de velocidades. O esforço de tração máximo corresponde ao momento de binário máximo. Tendo em consideração o binário máximo e a expressão 19, o valor do esforço de tração para cada velocidade é apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 - Esforço de tração para cada velocidade engrenada

Velocidade engrenada	φ - Tração correspondente (N)
1ª	6359,84
2ª	3341,90
3ª	2097,21
4ª	1534,55
5ª	1125,33

No passo seguinte, foram determinadas as velocidades para cada mudança engrenada na caixa de velocidades, considerando o regime de binário máximo. Assim, é possível determinar o ponto em que a mudança de velocidade na caixa é efetuada, considerando uma situação ideal de tração máxima. Na Tabela 15, são apresentados os valores da velocidade para cada mudança, no regime de binário máximo, determinada a partir da expressão 12.

Tabela 15 – Velocidade de mudança na caixa para regime de binário máximo

Mudança engrenada	Velocidade de mudança (km/h)
1ª (km/h)	14,40
2ª (km/h)	27,41
3ª (km/h)	43,68
4ª (km/h)	59,70
5ª (km/h)	81,41

De seguida, são consideradas as velocidades no ramo de ligação apresentadas na Tabela 13 e as velocidades de tráfego apresentadas na Tabela 11, como velocidades iniciais e finais. Tendo em conta, que o dimensionamento será feito para vias auxiliares em autoestradas, apenas serão admitidas as velocidades praticadas em autoestradas.

Através da velocidade inicial e final, do esforço de tração em cada mudança engrenada e da velocidade correspondente ao ponto de mudança na caixa de velocidades, é possível determinar a aceleração em cada intervalo de velocidade através da expressão 9. Resolvendo a expressão 9 em ordem à aceleração e considerando uma situação em patamar ($i=0$), tem-se:

$$j = \frac{\frac{(\varphi - 0,049 \cdot \mu \cdot Sf \cdot V^2)}{P} - 0,02}{0,11} \quad (26)$$

Com: $Sf = 1,448 \times 1,732$ e $\mu = 0,035$

Sabendo a aceleração para cada intervalo de velocidades (j), utilizando a expressão que relaciona a aceleração em função do espaço percorrido, é possível determinar a extensão necessária para a aceleração:

$$s = \frac{V_f^2 - V_i^2}{2 \cdot j} \quad (27)$$

Na Tabela 16 e no gráfico da Figura 45, é apresentada a extensão necessária (sem *taper*), à aceleração de um veículo em patamar ($i=0$), com velocidade no ramo de ligação de 40 km/h e com velocidade de tráfego na estrada principal de 100 km/h. A extensão é obtida em função da aceleração, correspondente a cada mudança de velocidade.

Tabela 16 - Espaço percorrido em função da aceleração

Intervalo de velocidades (km/h)	s (m)	j (m/s ²)
40 - 43,68	0	2,6895715
	4,41882363	2,6895715
43,68 - 59,70	4,41882363	1,56671812
	45,1918534	1,56671812
59,70 - 81,41	45,1918534	1,09448537
	153,165692	1,09448537
81,41 - 100	153,165692	0,52579642
	400,663958	0,52579642

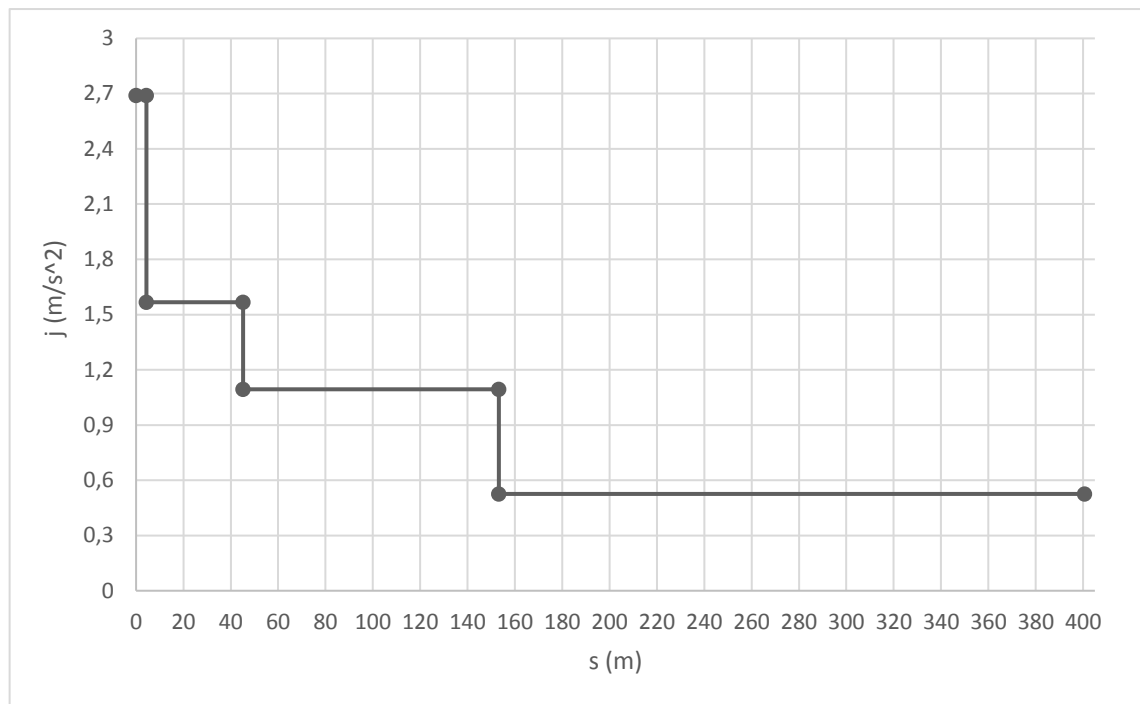


Figura 45 - Espaço percorrido em função da aceleração

Ao considerar uma série de intervalos de velocidades de entrada e de velocidades de saída, praticadas nas autoestradas, e utilizando o método apresentado, é possível construir uma tabela semelhante à das normas existentes. Os valores da extensão das vias de aceleração incluindo o *taper*, são apresentados na Tabela 17. Os valores do *taper* considerados são os da norma espanhola.

Tabela 17 – Extensão das vias de aceleração para o veículo tipo

Velocidade no ramo (km/h)			40	50	60	80
Raio mínimo da curva (m)			55	85	180	240
Velocidade base da estrada principal (km/h)	Velocidade de tráfego da estrada principal (km/h)	<i>Taper</i> (m)	Extensão da via de aceleração incluindo o <i>taper</i> (m)			
80	100	60	460,66	441,86	424,95	316,78
90	110	65	645,46	626,66	609,75	501,58
100	120	70	873,94	855,13	838,23	730,06
120	130	75	1159,01	1140,21	1123,30	1015,13
140	140	90	1529,65	1510,85	1493,94	1385,77

Analisando os valores obtidos, é possível ter uma perspectiva real das necessidades do veículo tipo selecionado. Estes valores, correspondem à extensão necessária para o veículo adquirir a velocidade da estrada principal. Em comparação com os valores das normas existentes, apresentados no capítulo 3, um veículo com características semelhantes às do veículo tipo, não terá extensão suficiente para o ganho de velocidade desejado.

O valor obtido para a extensão da via de aceleração, quando o diferencial de velocidades é grande, é cerca de duas vezes maior que o apresentado na norma espanhola e americana. Por um lado, estes valores satisfazem as condições de aceleração de praticamente todos os veículos. Por outro lado, a consideração de vias de aceleração muito extensas em estradas com volume de tráfego baixo, pode implicar a que os condutores entrem na via principal sem atingir a velocidade desejada e acelerem o veículo na via principal.

A razão das vias de aceleração serem muito extensas, deve-se ao facto de o veículo tipo ter acelerações reduzidas para velocidades elevadas. Numa situação em que a inclinação da via auxiliar é em rampa, a aceleração do veículo chega a ser negativa. Mesmo considerando uma velocidade de saída da via auxiliar com menos 10 km/h que a velocidade de tráfego, que é considerada a velocidade com que o veículo sai das vias auxiliares. Neste sentido, será considerado um carro de segmento médio, no cálculo das vias de aceleração. Esta consideração é feita, dado que, os veículos do mesmo segmento que o selecionado, em alguns casos, não conseguem atingir exatamente a velocidade da via principal. A transição da via auxiliar para a via principal é realizada assim que o condutor encontre um intervalo entre veículos aceitável e a interferência que o veículo causará na corrente de tráfego será mínima.

As características do veículo de segmento médio são apresentadas no Anexo A4, os valores obtidos para a extensão das vias de aceleração incluindo o *taper*, são apresentados na Tabela 18.

Nos casos, em que existe inclinação nos trainéis, a extensão da via aceleração é calculada da mesma forma, desta vez considerando o valor da inclinação na expressão 26. O sinal da inclinação é negativo em declive e positivo em rampa. Com os valores apresentados na Tabela 18 e os valores obtidos para diferentes inclinações, normalmente consideradas em autoestradas, é possível definir fatores multiplicativos em função da inclinação, apresentados nas Tabelas 19 a 24.

Tabela 18 - Extensão das vias de aceleração veículo alternativo

Velocidade do ramo (km/h)		40	50	60	80
Raio mínimo da curva (m)		45	75	120	250
Velocidade base da estrada principal (km/h)	Velocidade de tráfego da estrada principal (km/h)	Taper (m)	Extensão da via de aceleração incluindo o <i>taper</i> (m)		
80	100	60	296,82	284,43	265,50
90	110	65	385,31	372,92	353,99
100	120	70	455,92	473,37	454,44
120	130	75	569,52	586,97	568,04
140	140	90	737,57	725,18	680,27

Tabela 19 - Fatores multiplicativos para trainéis com 3% de inclinação em rampa

Velocidade do ramo (km/h)		40	50	60	80
Raio mínimo da curva (m)		45	75	120	250
Velocidade de tráfego da estrada principal (km/h)	Taper (m)	Fatores multiplicativos - rampa 3 %			
100	60	1,23	1,23	1,24	1,24
110	65	1,26	1,27	1,27	1,28
120	70	1,29	1,29	1,30	1,31
130	75	1,32	1,32	1,32	1,34
140	90	1,33	1,34	1,35	1,35

Tabela 20 - Fatores multiplicativos para trainéis com 4% de inclinação em rampa

Velocidade do ramo (km/h)		40	50	60	80
Raio mínimo da curva (m)		45	75	120	250
Velocidade de tráfego da estrada principal (km/h)	Taper (m)	Fatores multiplicativos - rampa 4 %			
100	60	1,34	1,35	1,36	1,37
110	65	1,39	1,40	1,41	1,43
120	70	1,45	1,44	1,45	1,48
130	75	1,49	1,48	1,49	1,52
140	90	1,51	1,52	1,53	1,55

Tabela 21 - Fatores multiplicativos para trainéis com 5% de inclinação em rampa

Velocidade do ramo (km/h)	40	50	60	80	
Raio mínimo da curva (m)	45	75	120	250	
Velocidade de tráfego da estrada principal (km/h)	Taper (m)	Fatores multiplicativos - rampa 5 %			
100	60	1,48	1,49	1,51	1,53
110	65	1,56	1,57	1,59	1,63
120	70	1,65	1,64	1,66	1,70
130	75	1,71	1,71	1,72	1,76
140	90	1,75	1,76	1,79	1,81

Tabela 22 - Fatores multiplicativos para trainéis com 3% de inclinação em declive

Velocidade do ramo (km/h)		40	50	60	80
Raio mínimo da curva (m)		45	75	120	250
Velocidade de tráfego da estrada principal (km/h)	Taper (m)	Fatores multiplicativos - declive 3 %			
100	60	0,86	0,86	0,85	0,86
110	65	0,84	0,84	0,84	0,84
120	70	0,83	0,83	0,83	0,82
130	75	0,82	0,82	0,82	0,81
140	90	0,81	0,81	0,81	0,81

Tabela 23 - Fatores multiplicativos para trainéis com 4% de inclinação em declive

Velocidade do ramo (km/h)		40	50	60	80
Raio mínimo da curva (m)		45	75	120	250
Velocidade de tráfego da estrada principal (km/h)	Taper (m)	Fatores multiplicativos - declive 4 %			
100	60	0,82	0,82	0,82	0,82
110	65	0,80	0,80	0,80	0,80
120	70	0,79	0,79	0,78	0,78
130	75	0,77	0,77	0,77	0,77
140	90	0,77	0,77	0,76	0,76

Tabela 24 - Fatores multiplicativos para trainéis com 5% de inclinação em declive

Velocidade do ramo (km/h)		40	50	60	80
Raio mínimo da curva (m)		45	75	120	250
Velocidade de tráfego da estrada principal (km/h)	Taper (m)	Fatores multiplicativos - declive 5 %			
100	60	0,79	0,79	0,78	0,79
110	65	0,77	0,77	0,76	0,76
120	70	0,75	0,75	0,75	0,74
130	75	0,74	0,74	0,73	0,73
140	90	0,73	0,73	0,72	0,72

Os resultados alcançados, são mais próximos aos das normas espanholas e americanas, chegam a ser superiores, o que resultará numa maior segurança e comodidade no funcionamento das vias auxiliares. A consideração de um veículo de segmento médio superior, permitiu uma melhor análise das necessidades do veículo para trainéis inclinados, dado que não existem casos com aceleração negativa.

5.4. CÁLCULO DA EXTENSÃO DAS VIAS DE DESACELERAÇÃO

O cálculo da extensão das vias de desaceleração é mais simples que o anterior, uma vez que, não há mudanças na caixa e velocidade. O método utilizado é o mesmo, com alterações relativas à mudança do comportamento do veículo, que nesta situação está em desaceleração. Numa situação de desaceleração, o condutor pressiona a fundo a embraiagem e utiliza os travões para auxiliar o abrandamento. Estas ações, submetem o veículo a um esforço de tração nulo ($\varphi=0$) e a um esforço de travagem ($P.f$). Nesta situação, é possível calcular a desaceleração do veículo numa situação de patamar ($i=0$), utilizando a expressão 20, resolvendo a expressão em ordem à aceleração, tem-se:

$$j = \frac{\frac{(-0,049 \cdot \mu \cdot Sf \cdot V^2)}{P} - 0,02 - f}{0,11} \quad (20)$$

O esforço frenante considerado é de 0,02, correspondente a uma desaceleração constante de 2 m/s².

Da mesma forma que no caso anterior, com o valor da desaceleração e com a expressão 27, é possível determinar a extensão necessária para o abrandamento do veículo, apresentada na Tabela 25.

Os valores alcançados, satisfazem as necessidades de praticamente todos os veículos numa situação de abrandamento. Para o veículo alternativo considerado no subcapítulo anterior, os resultados obtidos para a extensão das vias de desaceleração, são cerca de 2% superiores. Desta forma, é seguro afirmar que os valores apresentados na Tabela 25, garantem uma desaceleração segura e cómoda. Os fatores multiplicativos para trainéis com inclinação diferente de zero, calculados como no subcapítulo anterior, são apresentados nas Tabelas 26 a 31.

Tabela 25 - Extensão das vias de abrandamento para o veículo tipo

Velocidade base da estrada principal (km/h)		80	90	100	120	140
Velocidade de tráfego da estrada principal (km/h)		100	110	120	130	140
Taper (m)		60	65	70	75	90
Velocidade no ramo (km/h)	Raio min. da curva (m)	Extensão da via de abrandamento incluindo o <i>taper</i> (m)				
40	55	209,59	249,89	292,72	337,90	395,25
50	85	192,07	232,04	274,48	319,20	376,04
60	180	171,36	211,05	253,15	297,48	353,85
80	240	121,05	160,35	201,93	245,62	301,24

Tabela 26 - Fatores multiplicativos para trainéis com 3% de inclinação em rampa

Velocidade da estrada principal		100	110	120	130	140
Taper (m)		60	65	70	75	90
Velocidade no ramo (km/h)	Raio min. Curva	Fatores multiplicativos - rampa 3 %				
40	45	0,92	0,92	0,91	0,91	0,91
50	75	0,92	0,92	0,92	0,91	0,92
60	120	0,93	0,92	0,92	0,92	0,92
80	250	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92

Tabela 27 - Fatores multiplicativos para trainéis com 4% de inclinação em rampa

Velocidade da estrada principal		100	110	120	130	140
Taper (m)		60	65	70	75	90
Velocidade no ramo (km/h)	Raio min. Curva	Fatores multiplicativos - rampa 4 %				
40	45	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
50	75	0,90	0,89	0,89	0,89	0,89
60	120	0,90	0,90	0,90	0,89	0,89
80	250	0,93	0,91	0,91	0,90	0,90

Tabela 28 - Fatores multiplicativos para trainéis com 5% de inclinação em rampa

Velocidade da estrada principal		100	110	120	130	140
Taper (m)		60	65	70	75	90
Velocidade no ramo (km/h)	Raio min. Curva	Fatores multiplicativos - rampa 5 %				
40	45	0,87	0,87	0,87	0,86	0,87
50	75	0,88	0,87	0,87	0,87	0,87
60	120	0,89	0,88	0,87	0,87	0,87
80	250	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88

Tabela 29 - Fatores multiplicativos para trainéis com 3% de inclinação em declive

Velocidade da estrada principal		100	110	120	130	140
Taper (m)		60	65	70	75	90
Velocidade no ramo (km/h)	Raio min. Curva	Fatores multiplicativos - declive 3 %				
40	45	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
50	75	1,10	1,11	1,11	1,11	1,11
60	120	1,10	1,10	1,10	1,11	1,10
80	250	1,07	1,09	1,09	1,10	1,10

Tabela 30 - Fatores multiplicativos para trainéis com 4% de inclinação em declive

Velocidade da estrada principal		100	110	120	130	140
Taper (m)		60	65	70	75	90
Velocidade no ramo (km/h)	Raio min. Curva	Fatores multiplicativos - declive 4 %				
40	45	1,15	1,15	1,16	1,16	1,16
50	75	1,14	1,15	1,15	1,15	1,15
60	120	1,13	1,14	1,15	1,15	1,15
80	250	1,10	1,12	1,13	1,14	1,14

Tabela 31 - Fatores multiplicativos para trainéis com 5% de inclinação em declive

Velocidade da estrada principal		100	110	120	130	140
Taper (m)		60	65	70	75	90
Velocidade no ramo (km/h)	Raio min. Curva	Fatores multiplicativos - declive 5 %				
40	45	1,20	1,20	1,21	1,21	1,20
50	75	1,19	1,19	1,20	1,20	1,20
60	120	1,18	1,19	1,19	1,20	1,19
80	250	1,13	1,16	1,17	1,18	1,18

6

CONCLUSÃO

O objetivo desta dissertação, parte da falta de precisão, no tema das vias auxiliares, abordado nas normas portuguesas. Após a análise das normas, conclui-se que o método de utilização e dimensionamento destas vias não é rigoroso. Esta falta de rigor, é evidenciada nas vias auxiliares das estradas portuguesas, onde existe grande ocorrência de acidentes. A extensão das vias de aceleração e desaceleração, nas normas portuguesas, é estimada em função da velocidade de projeto. Não tendo em consideração a variação de velocidade que o veículo é submetido na realidade, a entrar e sair das autoestradas.

Em comparação com a norma espanhola e americana, verificou-se que os valores de extensão considerados na norma portuguesa são inferiores. A diferença de valores entre os países analisados, é justificada pelas diferentes metodologias de cálculo, utilizadas no dimensionamento das vias de mudança de velocidade. Tanto em Espanha, como nos Estados Unidos, o dimensionamento das vias auxiliares é feito tendo em conta a velocidade no ramo de ligação, a velocidade na via principal e a inclinação dos trainéis. Porém, as metodologias utilizadas em ambos os países, consideram uma aceleração constante no cálculo das extensões.

Como apresentado, um veículo em movimento é submetido a diversas resistências e a aceleração do veículo, varia em função das mudanças engrenadas na caixa de velocidades. Ao considerar todos os fatores que influenciam a aceleração e desaceleração do veículo, foi possível obter as extensões necessárias para que as mudanças de velocidade sejam feitas em segurança e comodidade. Contudo, foram feitos diversos cálculos, para diversos veículos, uma vez que, o veículo tipo estava sujeito a acelerações negativas, mesmo considerando uma velocidade cerca de 10 km/h menor que a de tráfego.

A abordagem tida nesta dissertação, no cálculo da extensão das vias auxiliares, permite um dimensionamento mais compatível à mudança de velocidade que o veículo efetua. No entanto, existem outros fatores que influenciam a definição e o dimensionamento das vias de mudança de velocidade, tais como: o comportamento do condutor, o intervalo entre veículos, a visibilidade da estrada principal, o volume de tráfego da via principal, entre outros. Deste modo, as normas e os conhecimentos teóricos devem ser complementados de um conhecimento prático.

As características e necessidades dos veículos, foram variando ao longo dos anos. As normas portuguesas são documentos antigos e, até à data, não sofreram alterações na matéria das vias auxiliares. A utilização de documentos recentes, como base de estudo para a elaboração desta dissertação e a consideração de um método de cálculo que corresponde às necessidades do veículo, permite um dimensionamento mais rigoroso das vias auxiliares, melhor adaptado à realidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Junta Autónoma de Estradas. *Norma de traçado JAE P3/94*. JAE, Lisboa, 1990.
- [2] Junta Autónoma de Estradas. *Normas de Intersecções JAE P5/90*. Lisboa, 1990.
- [3] Junta Autónoma de Estradas. *Normas de Nós de Ligação JAE P6/90*. JAE, Lisboa, 1990.
- [4] American Association of State Highway and Transportation Officials. *A policy on geometric design of highways and streets 4th edition*. AASHTO, Washington, DC, 2001.
- [5] Yang, Guangchuan. *Acceleration Characteristics Study and Acceleration Lane Length Design for Metered Ramps*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Nevada, 2017.
- [6] Ministerio de Fomento. Norma 3.1-IC Trazado de la Instrucción de Carreteras, anexo ao Boletín Oficial del Estado 55. Espanha, 2016.
- [7] American Association of State Highway and Transportation Officials. *A policy on geometric design of highways and streets 6th edition*. AASHTO, Washington, DC, 2011.
- [8] Almeida Roque, Carlos. *Revisão da Norma de Traçado*. Aclive, Algés, 2013.
- [9] França, Prof. Dr. Adalberto. *Sebenta de Vias de Comunicação I*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2017.
- [10] França, Prof. Dr. Adalberto. *Sebenta de Complementos de Estrada e Aeródromos*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2017.
- [11] ENGIVIA, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. *Norma de Traçado Revisão*. Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias IP, Lisboa, 2010.

ANEXOS

A1. VIAS AUXILIARES EM AUTOESTRADAS

A2. MODELO DE CÁLCULO - NORMA ESPANHOLA

A3. SAÍDAS EM CURVA

A4. SELEÇÃO DO VEÍCULO TIPO - ESPECIFICAÇÕES

A4.1. INTRODUÇÃO

A4.2. SELEÇÃO DO VEÍCULO TIPO

A4.3. CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO TIPO

A4.4. CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO ALTERNATIVO

A1

VIAS AUXILIARES EM AUTOESTRADAS

R (m)	D (m)
< 90	90
90 a 150	60
150 a 300	45
> 300	0

① - D pode ser eliminado nas vias colectoras-distribuidoras

② - Nos ramos de ligação entre auto-estradas a berma direita deverá ter 3,0 m, e a esquerda 1,5 m

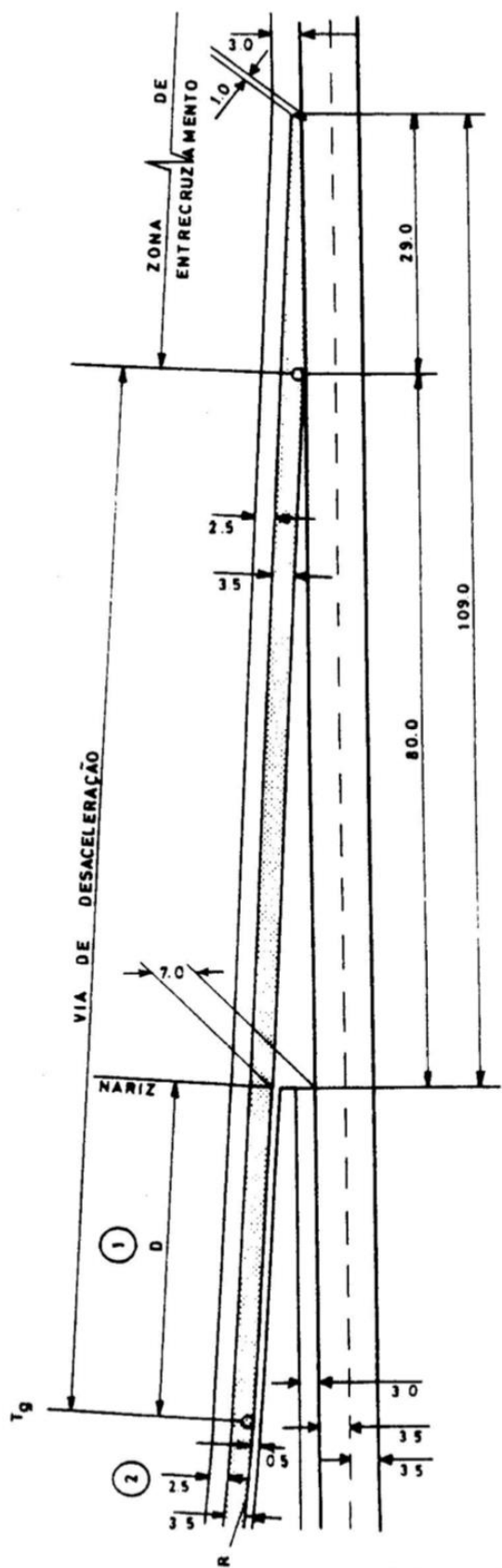


Figura A1. 1 – Vias de desaceleração em autoestradas [3]

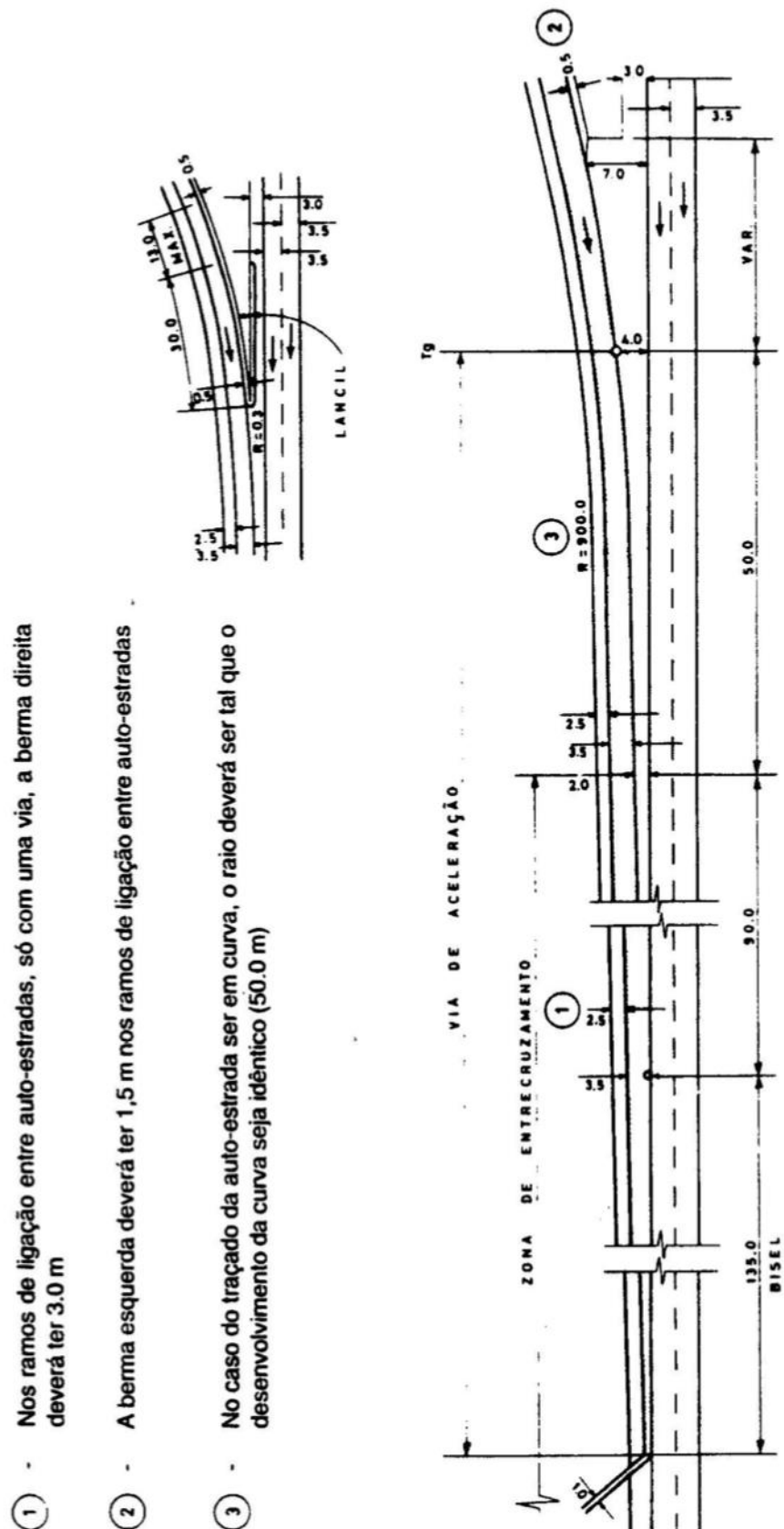


Figura A1. 2 - Vias de aceleração em autoestradas [3]

A2

MODELO DE CÁLCULO – NORMA ESPANHOLA

Os modelos de cálculo utilizados na norma espanhola [5], para o cálculo da extensão das vias auxiliares, são os seguintes:

- Para vias de aceleração:

$$x = \frac{v_f}{g \cdot K} \cdot \left[\left(\frac{v_o - v}{2} \right) \cdot (v_o + 2 \cdot v_f + v) + v_f^2 \cdot \ln \left(\frac{v_o - v_f}{v - v_f} \right) \right] + x_o \quad (A2.1)$$

Com:

$$K = \eta \cdot \frac{H}{P} \quad v_f = \frac{K}{(f_r \pm i)}$$

- Para vias de desaceleração:

$$L = \frac{(V_{do})^2 - (V_{df})^2}{254 \cdot i + 50} \quad (A2.2)$$

Sendo:

x/L - Comprimento da via auxiliar entre as secções características (m)

vf / Vdf - Velocidade final do veículo (m/s)

g - Força gravítica (N/kg)

v0/ Vd0 - Velocidade inicial do veículo (m/s)

v - Velocidade longitudinal do veículo (m/s)

x_0 - Posição inicial do veículo ($x_0=0$ m)

η - Rendimento da transmissão

H - Potência do motor (W)

f_r - Coeficiente de resistência à tração;

i - Inclinação da rasante.

A3

SAÍDAS EM CURVA

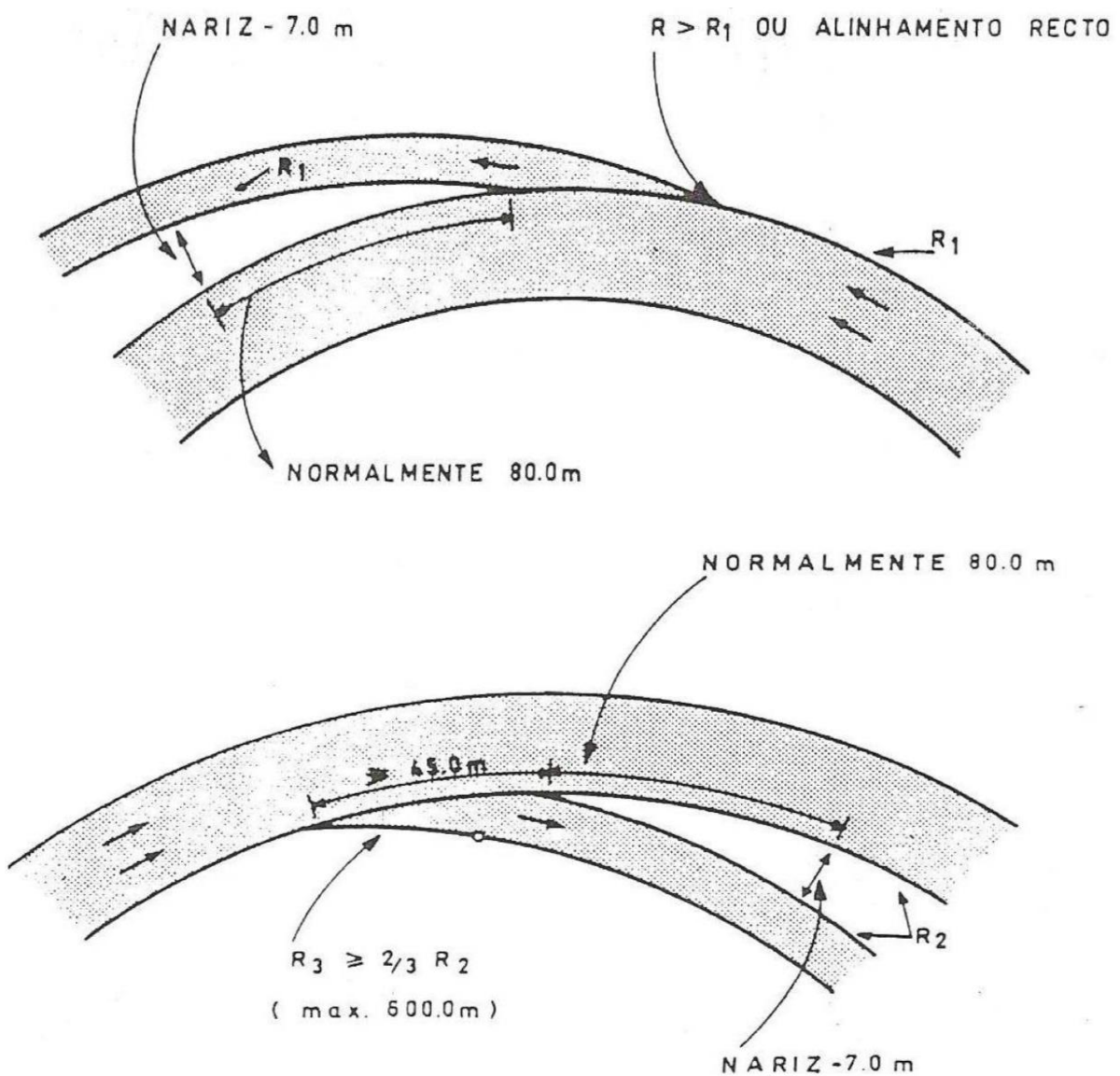


Figura A3. 1 – Disposição geométrica das saídas em curva [3]

A4

SELEÇÃO DO VEÍCULO TIPO - ESPECIFICAÇÕES

A4.1. INTRODUÇÃO

Na determinação das características mínimas de alguns dos elementos geométricos do traçado, as características dos diferentes tipos de veículos são fatores muito importantes. Uma vez que os veículos ligeiros, são os que condicionam as características mínimas neste caso de estudo. De seguida será justificada a seleção do veículo ligeiro tipo e serão mencionadas as suas características físicas e mecânicas.

A4.2. SELEÇÃO DO VEÍCULO TIPO

Foram analisados os dados estatísticos da Associação Automóvel de Portugal (ACAP) e foram compiladas em tabelas o número de unidades vendidas por marca (Tabela A4.1), modelo (Tabela A4.2) e versão (Tabela A4.3), em Portugal no ano de 2017.

Tabela A4. 1 - Estatísticas de vendas por marca no ano de 2017

	Vendas (Unidades)	% no Mercado
	2017	2017
Renault	37 785	14,50
Peugeot	27 550	10,57
Volkswagen	18 263	7,01
Mercedes-Benz	18 096	6,94
Citroën	16 840	6,46
Fiat	15 281	5,86
Opel	15 061	5,78
BMW	14 534	5,58
Nissan	13 587	5,21
Ford	11 889	4,56

Tabela A4. 2 - Estatísticas de vendas por modelo no ano de 2017

	Vendas (Unidades)
	2017
Renault Clio	12 743
Peugeot 208	6 833
Renault Megane	6 802
Nissan Qashqai	6 138
Renault Captur	6 005
Volkswagen Golf	5 485
Citröen C3	5 305
Volkswagen Polo	5 036
Peugeot 308	4 717
Opel Corsa	4 702

Tabela A4. 3 - Estatísticas de vendas por versão no ano de 2017

	Vendas (Unidades)
	2017
Renault Clio 0.9 IV Limited TCe 5 portas 90 cv	4049
Peugeot 208 1.2 VTi Style 5 portas 82 cv	3962
Mercedes-Benz classe A 1.5 CDi berlina 5 portas 109 cv	3696
Renault Clio 1.5 DCi IV Limited 5 portas 90 cv	3328
Nissan Qashqai 1.5 DCi 4x2 S&S N-Connecta 5P 110 cv	3136
Citroën C3 1.2 PureTech Feel 5 portas 82 cv	2938
Renault Captur 0.9 S&S Exclusive TCe 5 portas 90 cv	2315
Peugeot 208 1.6 HDi Style 5 portas 75 cv	2241
BMW série 1 116 D Efficient Dynamics 5 portas 116 cv	1886
Volvo V40 D2 5 portas 120 cv	1788

Nesta análise conclui-se que a marca mais vendida é a Renault e o modelo mais vendido é o Renault Clio, especificamente a versão 0.9 IV Limited TCe 90 cv. Este veículo é selecionado como veículo tipo.

Após analisar as tabelas seguintes pode-se concluir que existe uma razoável homogeneidade nas características dos veículos. O segmento mais predominante é o segmento B (Inferior), segmento do carro mais vendido. Apenas existe um segmento inferior a este (Segmento A - Económico), que apesar das características mecânicas serem inferiores, são capazes de vencer os resultados finais obtidos para o veículo tipo selecionado.

A4.3. CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO TIPO SELECIONADO

A ficha técnica do veículo selecionado é apresentada na Figura A4.1 e a curva característica do motor na é apresentada na Figura A4.2. As características físicas e mecânicas do veículo tipo, necessárias ao presente estudo, as seguintes:

- Peso em ordem de marcha: 10366 N
- Dimensões: largura: 1,732 m; altura: 1,448 m
- Relação de desmultiplicação: Diferencial: 1/4,21
- Caixa de Velocidades - 1ª velocidade: 1/3,73
 - 2ª velocidade: 1/1,96
 - 3ª velocidade: 1/1,23
 - 4ª velocidade: 1/0,90
 - 5ª velocidade: 1/0,66
- Potência máxima: 66 kW às 5000 r.p.m.
- Binário motor máximo: 135 N.m das 2000 às 13500 r.p.m
- Diâmetro das rodas: 0,60 m
- Rendimento de transmissão: 0,90

Technical specifications

	Life MT	Life EDC	Zen	Intens	Sport	Cup
Body type	Hatch					
Seating capacity	5					
ENGINE						
Type	H4Bt 0.9 Turbo	H5Ft 1.2 Turbo			M5Mt 1.6L Turbo	
Capacity (cc)	898	1197			1618	
Number of cylinders/valves	3 / 12	4 / 16				
Bore x stroke (mm)	72.2 x 73.1			79.7 * 81.1		
Compression ratio	9.5 : 1	10 : 1			9.5 : 1	
Maximum power (kW @ rpm)	66 @ 5000	88 @ 4,900			147 @ 6,050	
Maximum torque (Nm @ rpm)	135 @ 2500	190 @ 2,000			260 @ 2,000	
Fuel type (minimum)	Premium unleaded 95 or 98 RON					
Fuel injection type	Multipoint sequential petrol injection	Direct petrol injection			Direct sequential multipoint injection	
TRANSMISSION						
Type	5-speed manual	6-speed EDC automatic gearbox				
Driven wheels	Front					
Speeds at 1000 rpm:						
1st gear	6.78	7.35			7.29	
2nd gear	12.91	11.85			11.75	
3rd gear	20.48	18.03			17.89	
4th gear	28.31	25.35			25.15	
5th gear	38.29	33.2			32.93	
6th gear	-	40.97			40.65	
STEERING						
Type	Electric variable					
Turning circle between kerbs	10.6			10.9		
Turns lock-to-lock	2.71			2.67		
WHEELS						
Wheels (inches)	6.5J 16		7J 17		17"	18"
Tyres	195/55 R 16		205/45 R 17		205/45R17 (Goodyear® Eagle F1 Assymetric 2)	205/40R18 (Dunlop® Sport Maxx RT)
SUSPENSION						
Front	Pseudo MacPherson strut				MacPherson type rectangular shaped lower arm, anti-roll bar and hydraulic compression stops	
Rear	Torsion beam axle				Flexible axle with programmed deflection and coil springs	
BRAKING						
Front braking system (diameter x thickness)	Ventilated disc (258mm x 22mm)				Ventilated disc (320mm x 28mm)	
Rear braking system (diameter x thickness)	Drum (228mm x 38mm)				Disc (260mm x 8mm)	
PERFORMANCE						
Max. speed (km/h)	182	199			229	
0-100 km/h (seconds)	12.2	9.4			6.7	
FUEL CONSUMPTION*						
Emission standards	Euro 6	Euro 5			Euro 6	
Combined cycle (L/100km)	4.8	5.6			5.9	
CO2 emissions (g/km)	110	130			133	
Extra urban cycle (L/100km)	4.1	4.8			5.1	
Urban cycle (L/100km)	5.9	7.0			7.6	
CAPACITY (L)						
Fuel tank	45					
WEIGHTS (kg)						
Kerb weight	1017		1104		1204	
Payload	570				553	
Max. towing weight, braked	900				0	
Max. towing weight, unbraked	575		625		0	
Maximum tow ball download	75				0	

		Life Zen Intens	Renault Sport Cup
DIMENSIONS (mm)			
A	Wheelbase	2589	2589
B	Overall length	4063	4090
C	Front overhang	853	851
D	Rear overhang	621	622
E	Front track	1501	1504
F	Rear track	1505	1500
G	Overall width (including door mirrors)	1732	1945
G1	Overall width (including door mirrors)	1945	1732
H	Unladen height	1448	1434
H1	Unladen platform height	1920	1920
J	Boot sill height	716	716
K	Running clearance	159	159
L	Knee room (rear passengers)	140	140
M	Interior elbow cabin width - front	1363	1363
M1	Interior elbow cabin width - rear	1378	1378
N	Interior shoulder cabin width - front	1370	1370
N1	Interior shoulder cabin width - rear	1307	1307
P	Front seat headroom measured at 14 degrees	880	880
P1	Rear seat headroom measured at 14 degrees	847	847
Y	Upper boot entry width	1039	1039
Y1	Lower boot entry width	905	905
Y2	Interior width between wheel arches	1011	1011
Z	Rear entry height	550	550
Z1	Load area length with rear seats folded	1388	1388
Z2	Load area length behind rear seats	649	649
Z3	Height up to the parcel shelf	558	558
VOLUME (L)			
	Boot volume	300	
	Maximum boot volume with rear seats folded down (up to roof)	1146	

Figura A4. 1 - Especificações do veículo tipo (Fonte: Catálogo Renault Clio)

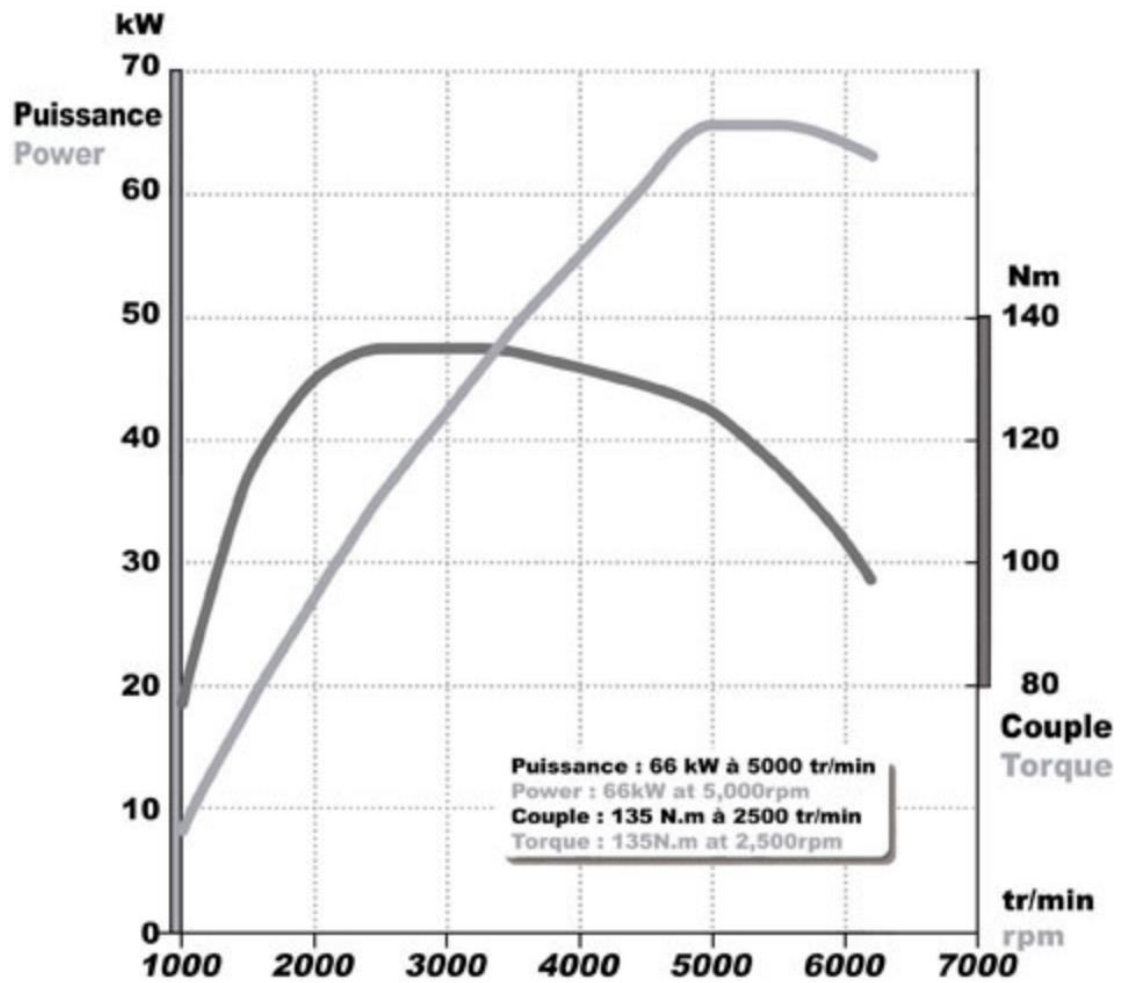


Figura A4. 2 - Curva característica do motor do veículo selecionado (Fonte: Catálogo Renault Clio)

A4.4. CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO ALTERNATIVO

O veículo alternativo de segmento médio superior, é o BMW série 340i e as suas características são apresentadas na Figura A4.3.

340i Sedan
Specifications

Engine

LITERS/TYPE

3.0-liter TwinPower Turbo inline 6-cylinder

DISPLACEMENT (cc)

2998

HORSEPOWER (hp @ rpm)

320 @ 5500

TORQUE (lb-ft @ rpm)

332 @ 1380-5000

COMPRESSION RATIO (:1)

11.0

Wheels & Tires

TIRE TYPE

Run-flat performance

tires³, ⁴

WHEEL DIMENSIONS (in)

18 x 8.0 front, 18 x 8.5

rear

TIRE DIMENSIONS (mm)

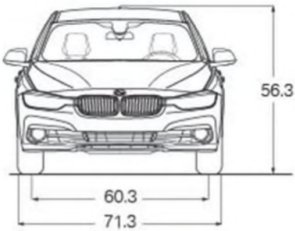
225/45 front, 255/40

rear

Exterior Dimensions

LENGTH / WIDTH / HEIGHT (in)

182.8 / 71.3 / 56.3



Transmission

TYPE

8-speed Sport Automatic transmission with automatic Sport and Manual shift modes

AUTOMATIC GEAR RATIOS - I / II / III

5.00 / 3.20 / 2.14

AUTOMATIC GEAR RATIOS - IV / V / VI

1.72 / 1.31 / 1.00

AUTOMATIC GEAR RATIOS - VII / VIII / R

0.82 / 0.64 / 3.45

AUTOMATIC GEAR RATIOS - FINAL DRIVE RATIO

2.81

TYPE

6-speed manual transmission

MANUAL GEAR RATIOS - I / II / III

4.11 / 2.31 / 1.54

MANUAL GEAR RATIOS - IV / V / VI / R

1.17 / 1.00 / 0.84 / 3.72

MANUAL GEAR RATIOS - FINAL DRIVE RATIO

3.23

Figura A4. 3 - Especificações do veículo alternativo (Fonte: Catálogo BMW Série 3)